

## Aree sensibili alla desertificazione nel Tavoliere di Puglia

Antonio Dipace<sup>1</sup>, Giuseppe Baldassarre<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Ph.D. course in Geomorphology and Environmental Dynamics, University of Bari. E-mail: dipaceantonio@tiscalinet.it

<sup>2</sup> Autore corrispondente. Dipartimento di Geologia e Geofisica, Università di Bari. Via Orabona, 4 – 70125 Bari.  
E-mail: gbaldassarre@geo.uniba.it

### *Sensitive areas to desertification in Tavoliere di Puglia (Italy)*

**ABSTRACT.** Desertification affects in various degrees all the countries facing the Mediterranean Basin. The main causes of the phenomenon are: frequent drought events, short and intense rainfall, high soil erodibility, salinization of coastal groundwater, high anthropic pressure on natural environment. Some of Italian Southern and insular regions are at risk. In this respect, previous researches have been carried out in various areas of Sardinia, Sicily and Basilicata. Some other areas considered at risk in other regions are lacking of enough elements to assess their desertification risk degree. Tavoliere di Puglia (Apulia), known as one of the most arid Italian areas, is one of them. The research was concerned about the analysis of desertification factors affecting Tavoliere, the use of GIS software to store and process data and the elaboration of the "Map of Environmentally Sensitive Areas to Desertification in Tavoliere di Puglia" in accordance with MEDALUS methodology. Results have been validated by monitoring groundwater levels and water conductivity in 14 drilled wells in the area.

*Key terms:* desertification - risk, management quality indexes, GIS, Tavoliere di Puglia, Italy

*Termini chiave:* rischio di desertificazione, gestione indici di qualità, GIS, Tavoliere di Puglia

### **Riassunto**

E' stata valutata la sensibilità alla desertificazione del Tavoliere di Puglia adattando la metodologia MEDALUS alle condizioni ambientali e socio-economiche tipiche del territorio con l'introduzione nella stessa di specifici parametri.

La carta delle aree sensibili alla desertificazione elaborata in ambiente GIS evidenzia che circa 1/3 del territorio è caratterizzato da "moderata sensibilità" a causa dell'aridità del clima e delle attività antropiche. A queste cause si aggiunge, lungo la fascia costiera, il fenomeno dell'intrusione marina indotta dal sovrasfruttamento delle acque sotterranee.

### **Introduzione**

Lo studio preliminare dei Servizi Tecnici Nazionali ha evidenziato il tendenziale rischio di desertificazione che coinvolge alcune regioni meridionali (Calabria, Basilicata e Puglia) ed insulari (Sicilia e Sardegna), come conseguenza delle modificazioni ambientali indotte da aridità stagionale, ripetuti episodi di siccità, precipitazioni brevi ed intense, elevata erodibilità dei suoli e sviluppo non sostenibile delle attività umane (Comitato Nazionale per la Lotta alla Desertificazione, 1998). Dopo la ratifica dell'UNCCD (Convenzione delle Nazioni Unite per la lotta alla desertificazione), sono stati condotti studi finalizzati all'individuazione delle aree sensibili alla desertificazione

su scala regionale (Basso et al. 1997; Bonati et.al., 2003; Montanarella et al., 2000). La metodologia utilizzata in questi studi è quella sviluppata nell'ambito del progetto di ricerca europeo MEDALUS (Mediterranean Desertification And Land Use), che considera l'interazione dei seguenti fattori: clima, vegetazione, suolo, aspetti socio-economici. Utilizzando la stessa metodologia l'Agenzia Ambientale Europea ha elaborato una carta del rischio di desertificazione dell'Italia in scala 1:250000 (DISMED, 2003).

Applicando questa metodologia su scala nazionale o regionale risulta evidente che taluni aspetti ambientali ed antropici, vengano necessariamente trascurati e/o approssimati ai fini della definizione delle aree sensibili alla desertificazione. Pertanto, è opportuno esaminare contesti territoriali più ristretti, omogenei per caratteristiche ambientali e antropiche. L'area scelta per il presente studio, il Tavoliere di Puglia, soddisfa questi criteri. Particolare attenzione è stata posta nell'individuazione di specifici parametri da introdurre nella metodologia MEDALUS (European Commission, 1999).

### **Caratteri fisici dell'area di studio**

Il Tavoliere di Puglia è una vasta area pianeggiante (ca. 4000 Km<sup>2</sup>), compresa tra il Subappennino dauno, il Promontorio del Gargano e il Fiume Ofanto (Fig. 1).

Il substrato di quest'area è costituito da una potente

successione calcareo-dolomitica del Mesozoico su cui poggiano argille con irregolari e ripetute alternanze di livelli sabbiosi e/o ghiaiosi di età Pliocene superiore-Pleistocene inferiore. Alle argille sono sovrapposti depositi marini ed alluvionali terrazzati (Pleistocene superiore - Olocene), costituiti da ghiaie, sabbie e limi sabbiosi.

Le locali condizioni geologiche consentono l'esistenza di tre unità acquifere principali (Cotecchia et al., 1995; Maggiore et al., 1996), situate a diverse profondità, che dall'alto verso il basso sono: l'acquifero poroso superficiale, nei depositi marini ed alluvionali terrazzati; l'acquifero poroso profondo, nelle lenti sabbiose e/o ghiaiose della successione argillosa plio-pleistocenica; l'acquifero fessurato-carsico profondo, nel substrato calcareo dolomitico.

Il Tavoliere di Puglia è solcato da numerosi corsi d'acqua (F. Fortore, Torrenti Triolo, Salsola, Celone, Cervaro e Carapelle), tutti caratterizzati da un regime stagionale, e da canali artificiali di bonifica che drenano le acque che periodicamente ristagnano nelle zone più depresse della fascia costiera, convogliandole nei torrenti o direttamente nel Mare Adriatico.

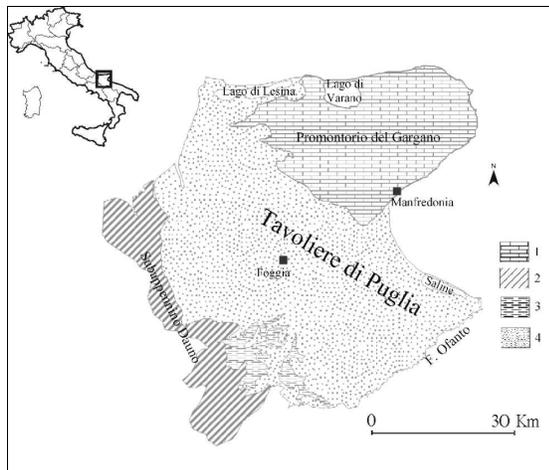


Fig. 1. - Carta geologica schematica del Tavoliere di Puglia  
 Legenda: 1=calcarei, calcari dolomitici e dolomie (Giurassico sup.-Cretaceo sup.); 2=Argille varicolori, calcari marnosi, calcareniti, arenarie, argille in alternanza e/o associazione; 3=ghiaie, sabbie, limi e argille (Olocene-Pleistocene sup.); 4=argille e limi argillosi (Pliocene e Pleistocene)

*Schematic geological map of Tavoliere di Puglia*

*Legend: 1 = limestones, dolomitic limestones and dolomite (Upper Jurassic - Upper Cretaceous); 2=varicoloured clays, marly limestones, calcarenites, sandstones, clays in alternation and/or association; 3=gravels, sands, silt and clays (Holocene-Upper Pleistocene sup.); 4=clays and silty clay (Pliocene and Pleistocene)*

Dal punto di vista climatico (Dipace, 2003), il Tavoliere di Puglia è caratterizzato dal tipo "Dd<sub>2</sub>" *sensu* Thorntawaite (1948), che indica condizioni di semi-aridità con eccedenza idrica limitata o assente. I valori medi annui delle

temperature sono compresi tra i 14°C ed i 16°C; il mese più freddo è gennaio, con temperature medie intorno ai 7 °C, i mesi più caldi sono luglio e agosto con valori medi di 23÷26°. Nell'andamento delle temperature medie annue, dal 1877 ad oggi, è stata individuata una tendenza generalizzata all'aumento, stimata in 0,079 °C/10 anni (Dipace, 2003). Le precipitazioni medie annue sono comprese tra 450 e 600 mm; i valori massimi mensili si registrano nei mesi di novembre e dicembre, i minimi nel mese di luglio. L'andamento delle precipitazioni medie annue è caratterizzato da una periodicità dei valori minimi di 20÷25 anni (Maggiore e Pagliarulo, 2003).

Sin dagli inizi del XX secolo, gli agricoltori del Tavoliere di Puglia hanno avviato all'irregolare disponibilità di acque superficiali intercettando l'acquifero poroso superficiale, con pozzi scavati a mano di modesta profondità. Con il progressivo aumento della richiesta idrica la ricerca di acque sotterranee è stata spinta sempre più in profondità, fino ad intercettare gli acquiferi profondi.

## Materiali e metodi

I principi metodici del MEDALUS si basano su "Indici di qualità" relativi agli accennati quattro fattori. Questi, calcolati come media geometrica di una serie di parametri, rappresentano proprietà caratteristiche dei fattori della desertificazione e vengono quantificati mediante un punteggio compreso tra 1 (valore migliore) e 2 (valore peggiore). Agli intervalli dei valori dei parametri vengono associati punteggi indicati nelle tabelle del MEDALUS. Per ogni cella elementare  $x$ , l'Indice di Qualità di ogni fattore della desertificazione viene così quantificato:

*Indice di Qualità del Fattore (suolo, clima, vegetazione, attività antropica) relativo a  $x_{ij}$  = (parametro  $1_{ij}$  x parametro  $2_{ij}$  x ..... parametro  $n_{ij}$ )<sup>1/n</sup> (1) dove: i,j = riga e colonna della cella elementare; n = numero di parametri utilizzati.*

L'indice ES (*Environmental Sensitivity*, cioè la sensibilità ambientale) è dato dalla relazione:

$$ES_{ij} = (Indice\ di\ Qualità\ del\ Suolo_{ij} \times Indice\ di\ Qualità\ del\ Clima_{ij} \times Indice\ di\ Qualità\ della\ Vegetazione_{ij} \times Indice\ di\ Qualità\ dell'attività\ antropica_{ij})^{1/4}$$

I valori ottenuti vengono suddivisi e classificati secondo livelli di sensibilità crescenti.

Poiché la metodologia MEDALUS consente di variare il numero e il tipo di parametri relativi agli indici di qualità, la stessa è stata adattata alle condizioni ambientali e agli aspetti socio-economici tipici del territorio in esame.

## Applicazione della metodologia

L'applicazione è stata preceduta dalla progettazione e implementazione di un "Geographical Information System" (GIS). Di seguito si riportano i parametri scelti e i criteri

adottati per la valutazione degli Indici di Qualità relativi ai fattori della desertificazione.

*Indice di Qualità del Clima (CQI)* – L’elaborazione della serie di valori contenuti negli annali del Servizio Idrografico e Mareografico è stata finalizzata alla determinazione delle precipitazioni annuali e dell’indice di aridità (formula di Bagnouls e Gaussen). I dati, di tipo puntuale, sono stati successivamente interpolati con il metodo del Kriging, utilizzando l’estensione Spatial Analyst dell’ArcGIS 8.1.2, al fine di ottenere una distribuzione areale. I layer ottenuti sono stati convertiti in formato raster e riclassificati in termini di punteggio (Tab. 1).

Tab. 1 - Indice di Qualità del Clima.  
*Climate Quality Index.*

| Parametro                                    | Classe     | Punteggio |
|----------------------------------------------|------------|-----------|
| Precipitazione                               | >650 mm    | 1,0       |
|                                              | 280÷650 mm | 1,5       |
|                                              | <280 mm    | 2,0       |
| Indice di Aridità<br>(Bagnouls<br>& Gaussen) | <50        | 1,0       |
|                                              | 50÷75      | 1,2       |
|                                              | 75÷100     | 1,4       |
|                                              | 100÷125    | 1,6       |
|                                              | 125÷150    | 1,8       |
|                                              | >150       | 2,0       |

L’esposizione dei versanti, parametro che condiziona fortemente l’umidità del suolo dei rilievi, per le aree pianeggianti è trascurabile; pertanto nell’equazione che segue non è stato considerato:

$$\text{Indice Qualità del clima (CQI)} = (\text{Precipitazioni annuali} \times \text{Aridità})^{1/2} \times \text{Indice di Qualità del Suolo (SQI)}$$

I parametri considerati riguardano le proprietà da cui dipendono la disponibilità d’acqua e la resistenza all’erosione del suolo, quali: tessitura, pietrosità, materiale parentale, spessore del suolo, drenaggio e pendenza. La tessitura, la pietrosità, lo spessore del suolo e il drenaggio dei suoli sono stati ricavati dalla Carta Pedologica della Puglia in scala 1:100000 del progetto ACLA II, mentre il parametro materiale parentale è stato desunto dalla Carta Litologica in scala 1:50000 redatta nell’ambito del progetto “Attività conoscitive per l’elaborazione del Piano di Bacino della Regione Puglia”. Queste documentazioni cartografiche sono state acquisite mediante scanner ottico; la successiva elaborazione ha riguardato la: georeferenziazione in ArcMap mediante lo strumento Georefering; digitalizzazione dei limiti delle unità cartografiche ed archiviazione dei dati numerici in un database; conversione dei layer dal formato vettoriale al formato raster con pixel di dimensioni 100 x 100 m; attribuzione, in ogni layer, dei punteggi ai pixel in base al valore del parametro considerato (Tab. 2). Per questa elaborazione è stata impiegata la funzione “Reclassify” di Spatial Analyst.

Per la carta delle pendenze sono state digitalizzate, in

ambiente ArcGIS, le curve di livello riportate nelle tavolette dell’I.G.M. (scala 1:25000). Da questo tema, utilizzando l’estensione 3D Analyst, è stato costruito il TIN (Triangulated Irregular Network), da cui sono state derivate automaticamente le pendenze dell’intera area di studio. Anche il layer delle pendenze è stato riclassificato in termini di punteggio. Ottenuti i quattro layer relativi ai parametri, con la funzione Raster Calculator di Spatial Analyst, è stato eseguito il seguente calcolo:

$$\text{Indice Qualità del Suolo (SQI)} = (\text{Tessitura} \times \text{Pietrosità} \times \text{Materiale parentale} \times \text{Spessore} \times \text{Drenaggio} \times \text{Pendenza})^{1/6}$$

*Indice della Qualità della Vegetazione (VQI)* - I parametri considerati sono: rischio d’incendio, protezione dell’erosione, resistenza alla siccità, copertura vegetale. La distribuzione geografica di quest’ultima, unitamente ai citati parametri che la caratterizzano, sono stati ricavati dalla Carta dell’Uso del suolo in scala 1:100000 del progetto CORINE-land cover (E.E.A., 1999) e dal database ad esso associato.

Tab. 2 - Indice di Qualità del Suolo  
*Soil Quality Index*

| Parametro           | Classe                                                                                                                               | Punteggio |
|---------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| Pietrosità          | >60 %                                                                                                                                | 1,00      |
|                     | 60÷20 %                                                                                                                              | 1,50      |
|                     | <20 %                                                                                                                                | 2,00      |
| Tessitura           | Medio impasto; medio impasto sabbioso; medio impasto argilloso; medio impasto sabbioso argilloso; sabbioso tendente al medio impasto | 1,00      |
|                     | Argilloso sabbioso; medio impasto limoso; medio impasto limoso-argilloso                                                             | 1,33      |
|                     | Argilloso; argilloso-limoso                                                                                                          | 1,66      |
|                     | Sabbioso                                                                                                                             | 2,00      |
| Materiale parentale | Ghiaie, sabbie, limi, argille, conglomerati                                                                                          | 1,00      |
|                     | Calcari, calcareniti, arenarie                                                                                                       | 1,50      |
|                     | Marne                                                                                                                                | 2,00      |
| Profondità          | >75 cm                                                                                                                               | 1,00      |
|                     | 30÷75 cm                                                                                                                             | 1,50      |
|                     | <30 cm                                                                                                                               | 2,00      |
| Drenaggio           | Drenaggio buono                                                                                                                      | 1,00      |
|                     | Drenaggio imperfetto                                                                                                                 | 1,50      |
|                     | Drenaggio scarso                                                                                                                     | 2,00      |
| Pendenze            | <6 %                                                                                                                                 | 1,00      |
|                     | 6÷18 %                                                                                                                               | 1,33      |
|                     | 18÷35 %                                                                                                                              | 1,66      |
|                     | >35 %                                                                                                                                | 2,00      |

Per ogni unità cartografica si è seguita la stessa procedura adottata per i parametri del suolo:

implementazione di un database specifico, elaborazione e rappresentazione spaziale con ArcGIS, conversione dei layer ottenuti dal formato vettoriale al formato raster. I layer ottenuti sono stati riclassificati in termini di punteggio, (Tab. 3). L'equazione applicata per il calcolo è la seguente:  $\text{Indice Qualità della Vegetazione VQI} = (\text{Rischio d'incendio} \times \text{Protezione dell'erosione} \times \text{Resistenza alla siccità} \times \text{Copertura vegetale})^{1/4}$

Tab. 3 - Indice di Qualità della Vegetazione  
*Vegetation Quality Index*

| Parametro               | Classe                                                                                                                                                                                                         | Punteggio |
|-------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| Rischio d'incendio      | Aree con vegetazione rada; colture permanenti sempreverdi (oliveti); colture permanenti decidue (frutteti, mandorleti); macchia mediterranea mista a boschi di conifere; colture erbacee; boschi di latifoglie | 1,00      |
|                         | Macchia mediterranea mista a boschi di conifere                                                                                                                                                                | 1,33      |
|                         | Macchia mediterranea                                                                                                                                                                                           | 1,66      |
|                         | Boschi di conifere                                                                                                                                                                                             | 2,00      |
| Protezione all'erosione | Macchia mediterranea mista a boschi di conifere                                                                                                                                                                | 1,00      |
|                         | Macchia mediterranea; boschi di conifere                                                                                                                                                                       | 1,20      |
|                         | Boschi di latifoglie; prati stabili                                                                                                                                                                            | 1,40      |
|                         | Colture permanenti sempreverdi (oliveti)                                                                                                                                                                       | 1,60      |
|                         | Colture permanenti decidue (frutteti, mandorleti)                                                                                                                                                              | 1,80      |
| Resistenza alla siccità | Colture erbacee, colture orticole, aree con vegetazione rada                                                                                                                                                   | 2,00      |
|                         | Macchia mediterranea mista a boschi di conifere                                                                                                                                                                | 1,00      |
|                         | Boschi di latifoglie, prati stabili                                                                                                                                                                            | 1,25      |
|                         | Colture permanenti sempreverdi (oliveti)                                                                                                                                                                       | 1,50      |
|                         | Colture permanenti decidue (frutteti mandorleti)                                                                                                                                                               | 1,75      |
|                         | Colture erbacee, colture orticole, aree con vegetazione rada                                                                                                                                                   | 2,00      |
| Copertura vegetale      | >40 %                                                                                                                                                                                                          | 1,00      |
|                         | 10÷40 %                                                                                                                                                                                                        | 1,50      |
|                         | <10 %                                                                                                                                                                                                          | 2,00      |

*Indice della Qualità della Vegetazione (VQI)* - I parametri considerati sono: rischio d'incendio, protezione dell'erosione, resistenza alla siccità, copertura vegetale. La distribuzione geografica di quest'ultima, unitamente ai citati parametri che la caratterizzano, sono stati ricavati dalla Carta dell'Uso del suolo in scala 1:100000 del progetto CORINE-land cover (E.E.A., 1999) e dal database ad esso associato. Per ogni unità cartografica si è seguita la stessa procedura adottata per i parametri del suolo: implementazione di un database specifico, elaborazione e rappresentazione spaziale con ArcGIS, conversione dei layer ottenuti dal formato vettoriale al formato raster. I layer ottenuti sono stati riclassificati in termini di punteggio, (Tab. 3). L'equazione applicata per il calcolo è la seguente:

$\text{Indice Qualità della Vegetazione VQI} = (\text{Rischio d'incendio} \times \text{Protezione dell'erosione} \times \text{Resistenza alla siccità} \times \text{Copertura vegetale})^{1/4}$

*Indice di Qualità dell'Attività antropica (QAI)* - I parametri utilizzati sono: intensità dell'uso del suolo, rapporto tra il numero di aziende agricole che in un comune prelevano acque sotterranee e la superficie agricola utilizzata dello stesso comune (nel seguito il rapporto è indicato come n° Aziende con pozzi/SAU), conducibilità elettrica delle acque sotterranee. Per l'elaborazione del layer relativo all'intensità dell'uso del suolo (Bonati et al., 2003) è stata utilizzata l'accennata Carta del progetto CORINE-land cover (E.E.A., 1999).

Tab. 4 - Indice di Qualità dell'Attività antropica  
*Anthropic Activities Quality Index*

| Parametro                                       | Classe                                                                                      | Punteggio                         |
|-------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------|
| Intensità d'uso del suolo                       | Prati stabili, macchia mediterranea, boschi di latifoglie, boschi di conifere               | 1,00                              |
|                                                 | Colture permanenti sempreverdi (oliveti); colture permanenti decidue (frutteti, mandorleti) | 1,50                              |
|                                                 | Colture erbacee, colture orticole                                                           | 2,00                              |
|                                                 | Aziende con pozzi /SAU                                                                      | 0,0÷1,5 n°aziende/Km <sup>2</sup> |
| Conducibilità elettrica delle acque sotterranee | 1,5÷8,0 n°aziende/Km <sup>2</sup>                                                           | 1,50                              |
|                                                 | >8,0 n°aziende/Km <sup>2</sup>                                                              | 2,00                              |
|                                                 | 500÷2500 µS/cm (a 25°C)                                                                     | 1,00                              |
|                                                 | 2500÷10000 µS/cm (a 25°C)                                                                   | 1,50                              |
|                                                 | >10000 µS/cm (a 25°C)                                                                       | 2,00                              |

Il rapporto *aziende con pozzi/SAU* è stato introdotto nel presente studio per valutare la pressione antropica esercitata sulla risorsa idrica sotterranea. Inizialmente si era ipotizzato di ricorrere al rapporto tra il numero di pozzi e la superficie agricola utilizzata ma, in base ai dati forniti dal Genio Civile, il numero di pozzi censiti è risultato notevolmente

sottostimato rispetto a quello rilevato nelle campagne d'indagine per il presente lavoro. Di contro, i dati relativi alle aziende che ricorrono all'approvvigionamento di acque sotterranee, contenuti nel Fascicolo provinciale di Foggia (Caratteristiche strutturali delle aziende agricole; ISTAT, 2003), sono stati confermati dalle verifiche compiute. Con buona approssimazione, dal confronto delle statistiche disponibili, è possibile affermare che il rapporto tra pozzi e aziende agricole che utilizzano acque sotterranee è di 4 a 1.

proposto, la classe a minor rischio (punteggio 1) corrisponde ad un rapporto *aziende con pozzi/SAU* pari a 1,5 (densità: 6 pozzi per Km<sup>2</sup>), la classe a medio rischio (punteggio 1,5) è definita da un rapporto *aziende con pozzi/SAU* compreso tra 1,5 e 8 (densità: 6÷32 pozzi per Km<sup>2</sup>) e la classe a maggior rischio (punteggio 2) superiore a 8 (densità di pozzi superiore a 32 per Km<sup>2</sup>).

Allo scopo di valutare il fenomeno dell'intrusione marina è stato introdotto un altro parametro: la *conducibilità elettrica* delle acque sotterranee (parametro cui è legata la salinità delle acque). Per elaborare il relativo layer è stata utilizzata la Carta della distribuzione della conducibilità elettrica relativa all'acquifero poroso superficiale del Tavoliere di Puglia (Regione Puglia, 1989). Per l'assegnazione dei punteggi, la prima classe (punteggio 1) comprende i valori di conducibilità elettrica compresi 0 e 2500 µS/cm (a 25 °C), indicativi di un'acqua idonea per tutti i tipi di colture. La seconda classe (punteggio 1,5) comprende i valori tra 2500 e 10000 µS/cm (a 25 °C) e corrisponde ad acque utilizzabili per l'irrigazione di colture orticole. La terza classe (punteggio 2) comprende i valori di conducibilità elettrica superiori a 10000 µS/cm (a 25 °C), indicativi di acque inutilizzabili. Elaborati i layer relativi ai parametri intensità d'uso del suolo, n° aziende con pozzi/SAU, conducibilità elettrica delle acque sotterranee l'equazione applicata è la seguente:

$$Indice\ della\ Qualità\ dell'Attività\ antropica\ QAI = (Intensità\ d'uso\ del\ suolo \times n^{\circ}\ aziende\ con\ pozzi/SAU \times Conducibilità\ elettrica\ acque\ sotterranee)^{1/3}$$

**Risultati**

L'indice finale ES relativo alla sensibilità alla desertificazione delle aree del Tavoliere di Puglia è stato calcolato come media geometrica dei quattro Indici di Qualità determinati:

$$ES = (SQI \times CQI \times VQI \times AQI)^{1/4}$$

I valori ottenuti sono stati raggruppati in 4 classi di sensibilità, secondo intervalli di uguale ampiezza (Fig. 2). Utilizzando la funzione Histogram del modulo 3D Analyst è stato valutato che il 25,7 % del territorio presenta una sensibilità moderata alla desertificazione (entroterra del Golfo di Manfredonia), il 72,2 % una sensibilità bassa, il 2,1 % non è sensibile alla desertificazione.

**Validazione della metodologia**

I principali processi responsabili del rischio di desertificazione nel Tavoliere di Puglia sono il sovrasfruttamento e il degrado qualitativo delle acque sotterranee. Al fine di quantificare questi processi e di verificare la corrispondenza tra le aree in cui essi sono più accentuati e le aree per le quali è maggiore la sensibilità alla desertificazione, è stato effettuato il monitoraggio dei livelli piezometrici e della conducibilità elettrica in n. 14 pozzi (Fig. 2; Tab. 5).

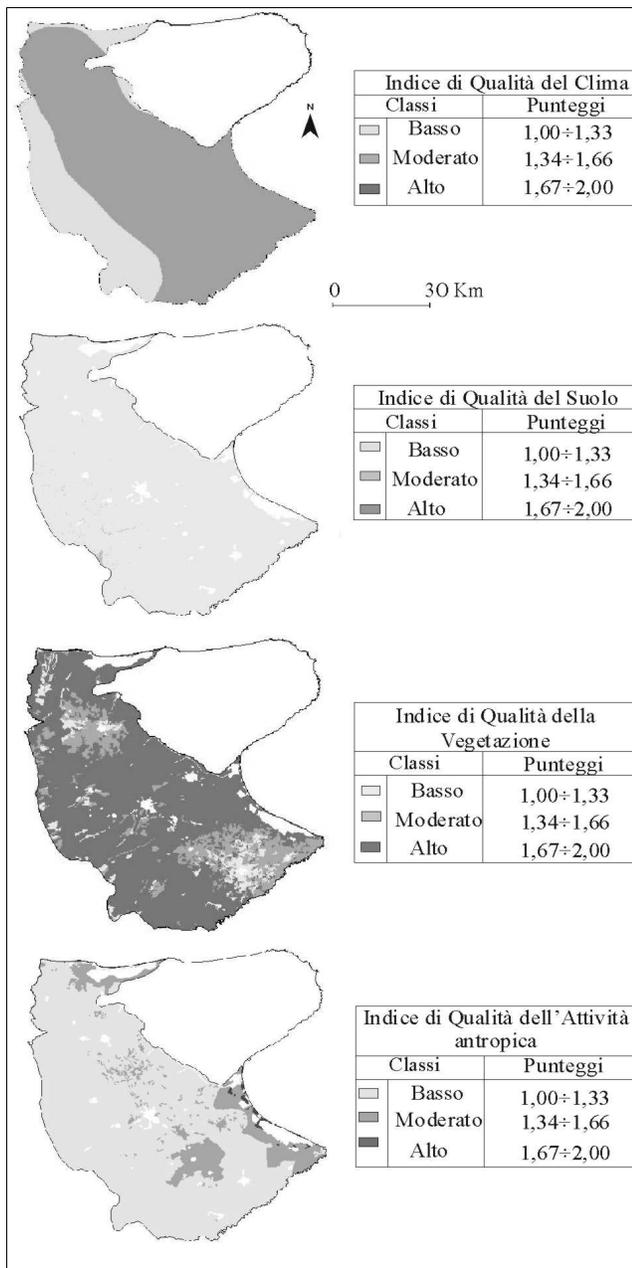


Fig. 2 – Carte degli Indici di Qualità *Maps of Quality Indexes*

Per quanto riguarda i punteggi, attribuiti al parametro

Tab. 5 - Caratteristiche dei pozzi di monitoraggio  
*Characteristics of Monitoring wells*

| Pozzo | Quota bocca pozzo (m s.l.m.) | Profondità (m) | Livelli idrici (m s.l.m.) |       |       |       | Conducibilità elettrica $\mu\text{S}/\text{cm}$ (a 25 °C) |       |       |       | Variazioni livelli idrici (2003-1996) | Conducibilità elettrica 2003-1996 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (a 25°C) | Acquifero* |
|-------|------------------------------|----------------|---------------------------|-------|-------|-------|-----------------------------------------------------------|-------|-------|-------|---------------------------------------|--------------------------------------------------------------------|------------|
|       |                              |                | 2003                      | 2002  | 2001  | 1996  | 2003                                                      | 2002  | 2001  | 1996  |                                       |                                                                    |            |
| 1     | 76.9                         | 51             | 44.6                      | 43.4  | 45.9  | 53.0  | 985                                                       | 1004  | 46    | 960   | -8.5                                  | 25.0                                                               | PS         |
| 2     | 44.0                         | 67             | 32.3                      | 26.6  | 27.0  | 26.7  | 1150                                                      | 1003  | 27    | 886   | 5.6                                   | 264.0                                                              | PS         |
| 3     | 40.9                         | 67             | 16.2                      | 17.9  | 16.4  | 21.0  | 872                                                       | 833   | 858   | 834   | -4.8                                  | 38.0                                                               | PS         |
| 4     | 22.1                         | 67             | -18.8                     | -19.7 | -18.5 | -18.4 | 7720                                                      | 7780  | 8060  | 8180  | -0.4                                  | -460.0                                                             | PS         |
| 5     | 96.0                         | 400            | 93.2                      | 96.0  | -     | 137.0 | -                                                         | -     | -     | -     | -43.8                                 | -                                                                  | PP         |
| 6     | 124.9                        | 59             | 90.4                      | 91.8  | 91.8  | 95.9  | 936                                                       | 910   | 1048  | 979   | -5.6                                  | -43.0                                                              | PS         |
| 7     | 122.8                        | 140            | 8.2                       | 7.2   | 6.6   | 8.8   | 909                                                       | 950   | 873   | 912   | -0.6                                  | -3.0                                                               | CP         |
| 8     | 8.3                          | 178            | 9.1                       | 7.6   | 5.3   | 7.8   | 5880                                                      | 5900  | 5940  | 5520  | 1.3                                   | 360.0                                                              | CP         |
| 9     | 48.5                         | 201.2          | 12.0                      | 11.4  | 10.9  | 15.6  | 1012                                                      | 1063  | 1047  | 1028  | -3.6                                  | -16.0                                                              | PS         |
| 10    | 111.0                        | 200            | 0.3                       | 0.5   | 0.5   | 0.7   | 45420                                                     | 45319 | 45854 | 45121 | -0.5                                  | 299.0                                                              | CP         |
| 11    | 28.0                         | 280            | 0.8                       | 0.8   | 0.4   | 1.0   | 50200                                                     | 49800 | 49600 | 49000 | -0.2                                  | 1200.0                                                             | CP         |
| 12    | 182.3                        | 200            | 0.5                       | 0.9   | 0.3   | 2.3   | 23500                                                     | 20800 | 21200 | 15410 | -1.8                                  | 8090.0                                                             | CP         |
| 13    | 142.7                        | 220.7          | 4.1                       | 4.0   | 5.7   | 4.7   | 572                                                       | 548   | 598   | 576   | -0.6                                  | -4.0                                                               | CP         |
| 14    | 36.46                        | 354            | 6.8                       | 6.91  | 7.3   | 9.5   | 601                                                       | 555   | 589   |       | -2.7                                  | -                                                                  | CP         |

\*Acquifero: P S = poroso superficiale; PP = poroso profondo; C P = carsico profondo

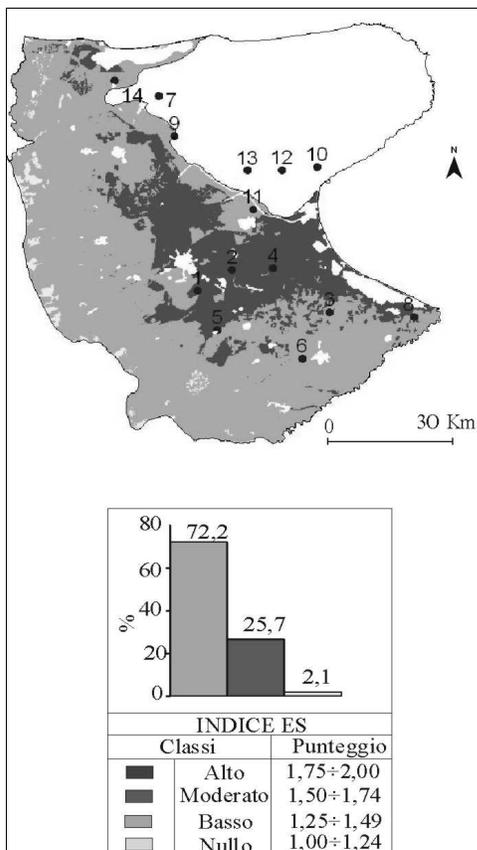


Fig. 3 - Carta delle aree sensibili alla desertificazione individuate in base all'Indice ES e relativo istogramma  
*Map of sensitive areas to desertification based on ES Index and relative Histogram.*

I rilievi sono stati condotti nel mese di luglio degli anni 1996, 2001, 2002 e 2003. Un incremento di oltre il 10 % nei valori della conducibilità elettrica, è stato misurato nei pozzi costieri (n. 8, 11 e 12). Nel pozzo n. 11, ubicato a 14 km dalla linea di costa nell'acquifero profondo, valori tipici di acqua di mare sono stati registrati perfino nei livelli più alti della falda. Nel pozzo n. 4, il contenuto salino è così elevato da pregiudicare l'impianto di colture orticole. Differenti condizioni si riscontrano nelle parte interne del Tavoliere di Puglia, laddove non si registrano rilevanti cambiamenti nella conducibilità elettrica ma si misurano notevoli abbassamenti della superficie piezometrica. Nel pozzo n. 1, gli abbassamenti piezometrici sono mediamente di 8 metri rispetto al valore misurato nel 1996. Nei pozzi n. 3 e 4 gli abbassamenti sono di 3÷4 m. Nel pozzo n. 5 è stato misurato un abbassamento di 40 m. Nei pozzi localizzati nelle aree a minore suscettibilità di desertificazione gli abbassamenti piezometrici risultano di 1÷2 m (pozzo n. 14).

## Conclusioni

Il Tavoliere di Puglia risulta una delle zone italiane più esposte al rischio di desertificazione come conseguenza dell'aridità del clima e dell'utilizzo non sostenibile della risorsa idrica sotterranea. In relazione a quest'ultimo aspetto le indagini compiute hanno evidenziato che gli eccessivi emungimenti, soprattutto in concomitanza di periodi pluriennali della siccità, determinano oltre al depauperamento irreversibile delle falde idriche anche il loro degrado qualitativo. In particolare, è stato accertato l'aggravamento del fenomeno della contaminazione lungo

la fascia costiera salina per ingressione di acqua marina. L'utilizzo di queste acque in agricoltura sta determinando la salinizzazione dei suoli. L'applicazione della metodologia MEDALUS, adeguatamente adattata alle situazione ambientale e socio-economica dell'area ha consentito di zonare le aree a diversa sensibilità di desertificazione; circa

1/3 del territorio presenta una sensibilità moderata. I risultati ottenuti sono stati infine validati dalle misure dei livelli piezometrici e dai rilievi conduttimetrici eseguiti in concomitanza di un periodo pluriennale di prolungata siccità, in una rete di pozzi distribuiti sul territorio esaminato.

## Bibliografia

- Basso, F., Bellotti, A., De Natale, F., Ferrara, A., Pisante, M., 1997. Analisi del rischio di degradazione del suolo in aree agricole della Basilicata: una proposta metodologica. *Riv. Di Agron.*, 31, 3 Suppl., pp. 864-871.
- Bianco, G., Loj G., 2001. Il Programma per la lotta alla siccità e alla desertificazione della Regione Sardegna nel contesto nazionale: il contributo dell'Ersat e del SAR. [Http://regione.Sardegna. It/confsicita/bianco-loj.html](http://regione.Sardegna.It/confsicita/bianco-loj.html)
- Bissanti, A., 1968. Le piogge in Puglia. *Ann. Fac. Econ. Comm. Univ. Bari*, 23, pp. 1-90, Bari.
- Comitato Nazionale per la Lotta alla Desertificazione, 1998. Comunicazione nazionale per la lotta alla Siccità e alla desertificazione. *Monografie del Ministero dell'ambiente*. Tipar Poligrafica Editrice, pp. 104, Roma
- Cotecchia, V., Ferrari, G., Fidelibus, M. D., Polemio, M., Tadolini, T. & Tulipano, L., 1995. Considerazioni sull'origine e sulla rinnovabilità delle acque presenti in livelli sabbiosi profondi del Tavoliere di Puglia. *Atti del 2° Convegno Nazionale sulla protezione e gestione delle acque sotterranee: metodologie, tecnologie, e obiettivi*. Nomentola Modena. 17-19 Maggio 1995.
- Cotecchia, V., Polemio, M., 1995. L'inquinamento e il sovrasfruttamento delle risorse idriche sotterranee pugliesi. *Atti del 6° Workshop progetto strategico Clima, Ambiente e territorio nel Mezzogiorno*. Taormina, 13-15 Dicembre 1995.
- Dipace, A., 2003. Individuazione delle aree sensibili alla desertificazione nel Tavoliere di Puglia. *Tesi di dottorato inedita*. Università degli Studi di Bari. Dipartimento di Geologia e Geofisica.
- DISMED 2003. Map of Sensitivity to Desertification and Drought in the Mediterranean Basin - Italy [www.ibimet.cnr.it/programmi/Pcase/dismed\\_products](http://www.ibimet.cnr.it/programmi/Pcase/dismed_products)
- DSTN Dipartimento per i Servizi Tecnici Nazionali, 1999. Carta delle aree sensibili alla desertificazione. Piano d'azione nazionale per la lotta alla desertificazione. [www.desertification.it](http://www.desertification.it)
- E.E.A. European Environment Agency 1999. Corine Project - Land Cover. <http://etc.satellus.se>.
- ESRI 2001. ArcGIS 8.1.2 manuals. Environmental System Institute, Redlands, CA.
- European Commission, 1999. The MEDALUS project Mediterranean desertification and land use. Project report. Kosmas C., Kirkby M., Geeson N. eds., EUR 18882, V.
- Giordano, L., Giordano, F., Grauso, S., Iannetta, M., Rossi, L., Sciortino, M., Bonati, G., 2003. Individuazione delle zone sensibili alla desertificazione nella regione Siciliana. [www.desertification.it](http://www.desertification.it)
- INEA 2001. Stato dell'irrigazione in Puglia. [www.inea.it](http://www.inea.it)
- ISTAT 2003. Censimento generale dell'agricoltura - Fasc. 2000.
- Maggiore, M., Pagliarulo, P., 2003. Siccità e disponibilità idriche sotterranee del Tavoliere di Puglia. *Geologia dell'Ambiente 2*: 35-40
- Maggiore, M., Nuovo, G., Pagliarulo, P., 1996. Caratteristiche idrogeologiche e principali differenze idrochimiche delle falde sotterranee del Tavoliere di Puglia. *Mem. Soc. Geol. It.*, 51, 669-684.
- Montanarella, L., Baracchini, R., Rusco E., 2000. Programma d'Azione per la Lotta alla Siccità e alla Desertificazione. Indicazione delle aree vulnerabili in Puglia. EUR 19590/IT.
- Regione Puglia 2001. Progetto Acla 2 - Studio per la caratterizzazione agronomica della Regione Puglia e la classificazione del territorio in funzione della potenzialità produttiva. <http://www.cartografico.puglia.it>
- Regione Puglia 1989. Relazione Generale del Piano di bacino dei Fiumi Fortore e Ofanto.
- Tarantino, E., Flagella, Z., De Caro, A., Del Vecchio, S., Disciglio, G., Volpe, D., 2000. Variazione della salinità delle acque irrigue di falda dei terreni nelle aree litoranee della Capitanata. *Bonifica*, 3, Foggia.
- Thornthwaite, C. W., 1948. An approach toward a rational classification of climate. *Geogr. Review*, 38, pp. 55-94.
- Trisorio-Liuzzi, G., 2003. Processi di desertificazione in area mediterranea. *Geologia dell'Ambiente*, 2, pp. 10-14.
- UNEP 1997. World atlas of desertification. Edward Arnold, pp. 182, New York.
- Ursitti, A., 2000. Il depauperamento e l'inquinamento delle risorse naturali in Capitanata. *Bonifica*, 1, pp. 33-40, Foggia.