

## APPLICAZIONE DELLA METODOLOGIA ESAS IN UN'AREA DI STUDIO E VALIDAZIONE CON DATI DI CAMPO

### *Application of the ESAs methodology in a study area and its validation through field data*

R. Coscarelli<sup>1</sup>, B. Ceccanti<sup>2</sup>, G. Masciandaro<sup>2</sup>, I. Minervino<sup>1</sup>, M. Sorriso-Valvo<sup>1</sup>

---

#### Sommario

---

La metodologia ESAs (Environmentally Sensitive Areas), per la valutazione delle aree sensibili alla desertificazione, si basa sull'elaborazione e interazione di quattro indici di qualità, relativi ad altrettante categorie (clima, vegetazione, suolo, gestione territoriale) di indicatori di desertificazione. Il presente studio concerne l'applicazione di detta metodologia in un'area del Crotonese, coincidente con il distretto viti-vinicolo del "Cirò D.O.C.", che ha portato alla valutazione della distribuzione nell'area di studio sia dell'indice per così dire "fisico" (ESAPI), derivato da indicatori di caratteristiche territoriali fisico-ambientali, sia dell'indice ESAI, derivato dall'interazione delle caratteristiche fisiche con quelle socio-economiche. I risultati, quindi, sono stati validati mediante i dati di una campagna di indagini volta all'analisi dei caratteri chimico-strutturali e biologici di alcuni campioni di suolo, rappresentativi delle classi e sottoclassi più significative delle classificazioni ESAs. La validazione è stata affrontata analizzando la qualità della sostanza organica, ritenuta in grado di svolgere un ruolo determinante nella regolazione dei fattori chimico-fisici e biologici che stanno alla base delle funzioni di un suolo.

---

#### Summary

---

The methodology ESAS, for evaluating the areas with sensitivity to desertification, is based on calculating and integrating four Quality Indexes relative to four categories of desertification indicators (climate, soil, vegetation and territory management). In the present study the above-mentioned methodology was applied to an area in the province of Crotona (Ionian side of Calabria – Italy), which coincides with the wine-district of "Cirò DOC". Two different Indexes were evaluated: the first one (ESAPI) is relative to only the physico-environmental parameters of the area, the second one (ESAI) includes also the social-economical characteristics. The results were validated by means of on-site investigations, based on soil samples representative of the various classes and sub-classes of the ESAs classification and on the analyses of their chemical-structural and biological characters. The core of the validation was the

---

<sup>1</sup> Consiglio Nazionale delle Ricerche – Istituto di Ricerca per la Protezione Idrogeologica (CNR-IRPI), sede di Cosenza

<sup>2</sup> Consiglio Nazionale delle Ricerche – Istituto di Ricerca per lo Studio degli Ecosistemi (CNR-ISE), sede di Pisa

analysis of the quality of soil organic substance, which plays an important role in the regulation of the chemical, physical and biological factors. These are fundamental for the productivity functions of a soil.

## 1. La metodologia ESAs

Nell'ambito del progetto "MEDALUS – MEditerranean Desertification And Land Use" della Comunità Europea, alcuni ricercatori (EC, 1999) hanno proposto e testato in quattro "aree pilota" della regione Nord-Mediterranea una metodologia di particolare interesse per l'individuazione delle Aree Ambientali Sensibili alla Desertificazione (ESAs).

La metodologia affronta la tematica mediante due approcci, uno ad ampia scala e l'altro a scala di bacino. Il primo approccio mira all'individuazione delle regioni a rischio di desertificazione più alto, utilizzando alcuni Indicatori Regionali (RDI), individuati su dati internazionalmente disponibili, reperiti a scala regionale. Una volta individuate le regioni a rischio, la metodologia mira all'individuazione delle ESA all'interno delle stesse mediante un approccio multifattoriale basato sia sulla conoscenza generale sia su quella locale dei processi ambientali in atto. Per questo tipo di approccio la scala a cui si opera è quella di bacino o provinciale (1:25.000) che, essendo più dettagliata rispetto a quella regionale, tiene maggiormente conto dei fattori antropici e socio-economici insistenti sulle diverse aree.

La metodologia si basa sull'elaborazione di quattro indici di qualità (del Suolo – SQI; del Clima – CQI; della Vegetazione – VQI; della Gestione Territoriale – MQI) che, combinati, forniscono la sensibilità ambientale. L'elaborazione degli indici SQI, VQI e CQI si basa su indicatori di carattere fisico-ambientale, espressione delle caratteristiche climatiche, pedogenetiche, morfologiche e di qualità della copertura vegetale insistenti sull'area in studio; l'elaborazione dell'indice MQI è, invece, basata sull'analisi dell'intensità d'uso del suolo e sulla implementazione delle politiche di protezione ambientale (Tab.1).

A ciascun indicatore di desertificazione (strato informativo), differenziato in classi, viene attribuito un punteggio (EC, 1999), che varia da 1 a 4, proporzionalmente all'influenza nell'instaurare o alimentare fenomeni di degrado del suolo. Il valore zero (no-data) è attribuito alle aree dove le misure non sono appropriate e/o in quelle dove non ha molto senso parlare di degrado del suolo (zone urbanizzate e/o industriali, ecc.). Dei quindici indicatori selezionati solo due hanno un punteggio massimo pari a 4: si tratta degli indicatori "profondità del suolo" e "precipitazioni", rientranti, rispettivamente, nelle categorie "suolo" e "clima".

Il calcolo degli indici di qualità avviene, per ciascuna cella elementare, come media geometrica dei punteggi attribuiti agli indicatori appartenenti ad ogni categoria, secondo la relazione seguente:

$$\text{Indice di Qualità } X_{ij} = (\text{strato } 1(x)_{ij} \cdot \text{strato } 2(x)_{ij} \cdot \dots \cdot \text{strato } n(x)_{ij})^{1/n} \quad (1)$$

dove  $X$  è il generico indice di qualità,  $ij$  rappresentano le "coordinate" (righe e colonne) di una singola unità elementare ed  $n$  è il numero di strati informativi usato per la determinazione di ogni indice di qualità.

Strato	Classi	Punteggi
<b>Categoria suolo</b>		
Caratteristiche in base alla tipologia di roccia madre	Suoli che, malgrado la loro generale scarsa produttività durante anni piovosi, riescono ad assicurare una non trascurabile produzione di biomassa in anni asciutti grazie alla loro capacità di immagazzinamento idrico (es. su: argilliti, conglomerati, depositi non consolidati, scisti filladici, rocce basiche). Sono compresi anche quei suoli profondi formati entro fratture e faglie che riescono a mantenere bene la vegetazione naturale in clima mediterraneo.	1
	Suoli superficiali e a regime di umidità relativamente asciutto caratterizzati da alta erodibilità e lenta capacità di recupero per la vegetazione (es. su: calcari, arenarie).	1.7
	Suoli che, nonostante la profondità e l'alta produttività in anni a piovosità normale e buona, non consentono di mantenere nessun tipo di vegetazione annuale in anni particolarmente siccitosi (es. su: marne), e suoli poco profondi ad alta erodibilità (es. su: piroclastiti).	2
Tessitura	F, FSA, FS, SF, FA	1
	AS, FL, FLA	1.2
	L, A, AL	1.6
	S	2
Pietrosità superficiale (%)	> 60	1
	20 – 60	1.3
	< 20	2
Profondità (cm)	> 75	1
	30 – 75	2
	15 – 30	3
	< 15	4
Drenaggio	Buono	1
	Mediocre	1.2
	Scarso	2
Pendenza (%)	< 6	1
	6 – 18	1.2
	18 – 35	1.5
	> 35	2
<b>Categoria clima</b>		
Precipitazione annua (mm)	> 650	1
	280 – 650	2
	< 280	4
Indice di aridità (di Bagnouls e Gaussen)	< 50	1
	50 – 75	1.1
	75 – 100	1.2
	100 – 125	1.4
	125 – 150	1.8
Esposizione	> 150	2
	Nord, pianeggiante	1
	Sud	2

**Tab. 1** – Strati informativi utilizzati e relativi punteggi. Da EC (1999), modificato (continua)

Strato	Classi	Punteggi
<b>Categoria fattori socio-economici</b>		
Implementazione delle politiche	Alta	1
	Moderata	1.5
	Bassa	2
Intensità d'uso del suolo	Bassa	1
	Media	1.5(*)
	Alta	2
(*) 1.2 per le aree naturali		
<b>Categoria Vegetazione</b>		
Grado di copertura (%)	> 40	1
	10 – 40	1.8
	< 10	2
Protezione dall'erosione	Macchia mediterranea a leccio	1
	Macchia mediterranea, conifere, pascoli permanenti, colture agricole perenni sempreverdi ( <i>oliveti</i> )	1.3
	Boschi di latifoglie decidue	1.6
	Frutteti	1.8
	Coltivazioni annuali ( <i>prati, cereali, mais, tabacco, girasole,...</i> ), vigneti	2
Resistenza alla siccità	Macchia mediterranea, macchia mediterranea a leccio	1
	Conifere, boschi di latifoglie decidue, oliveti	1.2
	Frutteti, vigneti	1.4
	Pascoli	1.7
	Coltivazioni annuali ( <i>prati, cereali, mais, tabacco, girasole,...</i> )	2
Rischio di incendio	Suoli nudi, frutteti, vigneti, oliveti, coltivazioni annuali irrigue ( <i>mais, tabacco, girasole,...</i> )	1
	Pascoli, cereali, prati, boschi di latifoglie, macchia mediterranea a leccio	1.3
	Macchia mediterranea	1.6
	Conifere	2

**Tab. 1** – Strati informativi utilizzati e relativi punteggi. Da EC (1999), modificato (continuazione)

L'interazione degli indici di qualità, ottenuta, anche in questo caso, mediante un semplice calcolo di media geometrica, fornisce un valore di sensibilità ambientale, espresso dall'indice ESAI.

$$ESAI_{ij} = (SQI_{ij} \cdot CQI_{ij} \cdot VQI_{ij} \cdot MQI_{ij})^{1/4} \quad (2)$$

Il valore derivante dall'elaborazione dell'indice ESAI può ricadere in una delle quattro classi in cui si esprime la sensibilità ambientale alla desertificazione: non affette, potenzialmente affette, fragili e critiche (Tab. 2).

Come si può esaminare, l'elaborazione di ciascun indice di qualità è indipendente da quella degli altri e ogni indice, nella successiva elaborazione dell'indice di sensibilità ambientale alla desertificazione (ESAI), ha lo stesso peso rispetto agli altri. Un algoritmo così strutturato consente di svincolare l'elaborazione

Classe	Descrizione	Intervalli	Subclasse	Intervalli
Non affetta	Aree caratterizzate da terreni in buone condizioni chimico-fisiche su cui si effettuano pratiche agricole conservative o su cui insiste una buona copertura vegetale	<1.17	N	<1.17
Potenziale	Territori in cui profondi cambiamenti climatici, quali prolungati periodi di siccità, o drastici cambiamenti di destinazioni d'uso del suolo, che comportano l'applicazione di tecniche agricole non sostenibili, possono condurre all'instaurarsi di fenomeni di degrado	1.17-1.22	P	1.17-1.22
Fragile	Aree in cui già sussistono condizioni di equilibrio precario tra le risorse naturali e le attività antropiche (metodiche colturali, deforestazione, sovrapascolamento, ecc), in cui alterazioni anche minime di questi equilibri provocano la progressiva desertificazione del territorio	1.23-1.37	F1	1.23-1.26
			F2	1.27-1.32
			F3	1.33-1.37
Critica	Territori caratterizzati da fenomeni di degrado particolarmente evidenti (erosione accelerata, perdita di suolo, formazione di croste superficiali, perdita di biodiversità) che si ripercuotono sulla produttività dei suoli	>1.37	C1	1.38-1.41
			C2	1.42-1.53
			C3	>1.53

**Tab. 2** - *Classi ed intervalli di valori relativi all'Indice di Sensibilità Ambientale alla Desertificazione ESAI*

dal numero degli strati considerati, dalla loro natura e formato (che siano qualitativi o quantitativi; misurati o stimati; ecc.), contemplando la possibilità di aggiornare e/o integrare le informazioni utilizzate, aggiungendo altri indicatori. Tuttavia, operazioni del genere devono opportunamente essere validate per poter considerare le elaborazioni aderenti alla metodologia utilizzata e confrontabili con quelle già sviluppate per altre aree-studio.

Il sistema su esposto ha consentito di generare una banca dati complessa, comprendente informazioni di natura molto diversa fra di loro.

Nel presente studio si è voluto applicare il metodo rimanendo il più possibile aderenti alla sua formulazione originaria, così come è stata proposta nel progetto MEDALUS. Questa scelta, con tutti i limiti che comporta, è stata fatta al fine di rendere le elaborazioni ottenute confrontabili con altre applicazioni della stessa metodologia. Le uniche modifiche apportate, seguendo i riferimenti tratti dallo studio del Servizio Agro-meteorologico della Sardegna (SAR, 2004), riguardano, nell'ambito della determinazione dell'indice di qualità della gestione, il calcolo dell'indice di pascolamento, a sua volta in parte modificato. Nell'ambito del calcolo dell'indice di qualità della vegetazione, inoltre, le varie classi d'uso del suolo presenti nell'area in studio sono state, di volta in volta, messe in relazione e adattate alle tipologie proposte dal metodo MEDALUS. Nel caso, infine, della determinazione dell'indice di qualità del suolo, si è scelto di esprimere la classificazione litologica in base alle caratteristiche dei suoli originatisi da quelle tipologie di roccia madre previste dal metodo ESAs.

## 1.1 L'indice ESAPI

Oltre agli indici finora citati, definibili "standard" per la procedura utilizzata, è stato prodotto un nuovo indice, attinente esclusivamente ai tematismi fisico-naturali, denominato ESAPI (Environmentally Sensitivity Areas Physical Index) (Coscarelli et al., 2005). Il ricorso all'elaborazione di un indice finale per la valutazione della sensibilità ambientale alla desertificazione che si basi su indicatori unicamente fisico-naturali, come suggerito da alcuni autori (Ferrara e Kosmas, 2004) viene giustificato quando si vuole rappresentare una situazione "statica", non soggetta cioè alle conseguenze delle politiche di gestione del territorio, che hanno un'influenza nel corso degli anni.

L'indice ESAPI assume quindi una valenza particolare: tale indice, infatti, può essere adottato come espressione della propensione intrinseca del territorio in esame a sviluppare fenomeni di desertificazione, in base alle sole caratteristiche chimico-fisiche-naturali e a quelle climatiche esistenti, come risulta dalla sua formulazione :

$$ESAPI_{ij} = (SQI_{ij} \cdot CQI_{ij} \cdot VQI_{ij})^{1/3} \quad (3)$$

L'assenza del quarto Indice di Qualità nella sua formulazione impone ovviamente un nuovo calcolo degli intervalli dei valori per le varie classi di sensibilità ambientale (Coscarelli et al., 2005).

## 2. Applicazione della metodologia al caso studio

### 2.1 Inquadramento dell'area di studio

L'area oggetto di studio è situata nella parte settentrionale della provincia di Crotone e coincide con l'intero comprensorio viti-vinicolo del "Cirò D.O.C.", dal nome dell'omonimo vino ivi prodotto. Con una superficie di circa 17.000 ha, essa si estende lungo la fascia litorale ionica per circa 25 km, spingendosi nell'entroterra per oltre 10 km. L'area comprende i comuni di Cirò e Cirò Marina e parte dei territori comunali di Carfizzi, Crucoli, e Melissa. Il comprensorio del Cirò DOC, come anche riportato in altra parte del presente volume (Caloiero e Coscarelli, 2007), presenta chiari trend negativi delle precipitazioni annue.

Il territorio in esame è sottoposto ad un'intensa attività antropica, caratterizzato da una forte vocazione agricolo-pastorale: l'agricoltura (olivicoltura e viticoltura, in particolare) e la pastorizia hanno rappresentato la principale fonte occupazionale per la popolazione residente fino alla metà del secolo scorso. La pastorizia, come si evince dallo studio condotto da Antronico e Scarpelli (2007) incluso nel presente volume, alla fine del secolo scorso non era più la destinazione d'uso prevalente, a favore della viticoltura (che in questa zona è particolarmente specializzata), della rinaturalizzazione vegetazionale (aumento delle aree coperte da macchia mediterranea), e della riforestazione dei versanti più esposti ai fenomeni erosivi (mediante piantagioni di eucalipti), anche grazie

all'emanazione della legge n. 1177 del 26.11.1955 recante provvedimenti straordinari per la Calabria a seguito delle alluvioni del 1951 e 1953.

I centri abitati principali dell'entroterra (Cirò, Melissa, Crucoli) hanno assistito ad un veloce spopolamento nel corso del secolo passato, a vantaggio delle zone urbane costiere, che, però, com'è accaduto per Cirò Marina (comune autonomo dal 1952), sono cresciute in modo disorganico, con conseguente degrado del territorio.

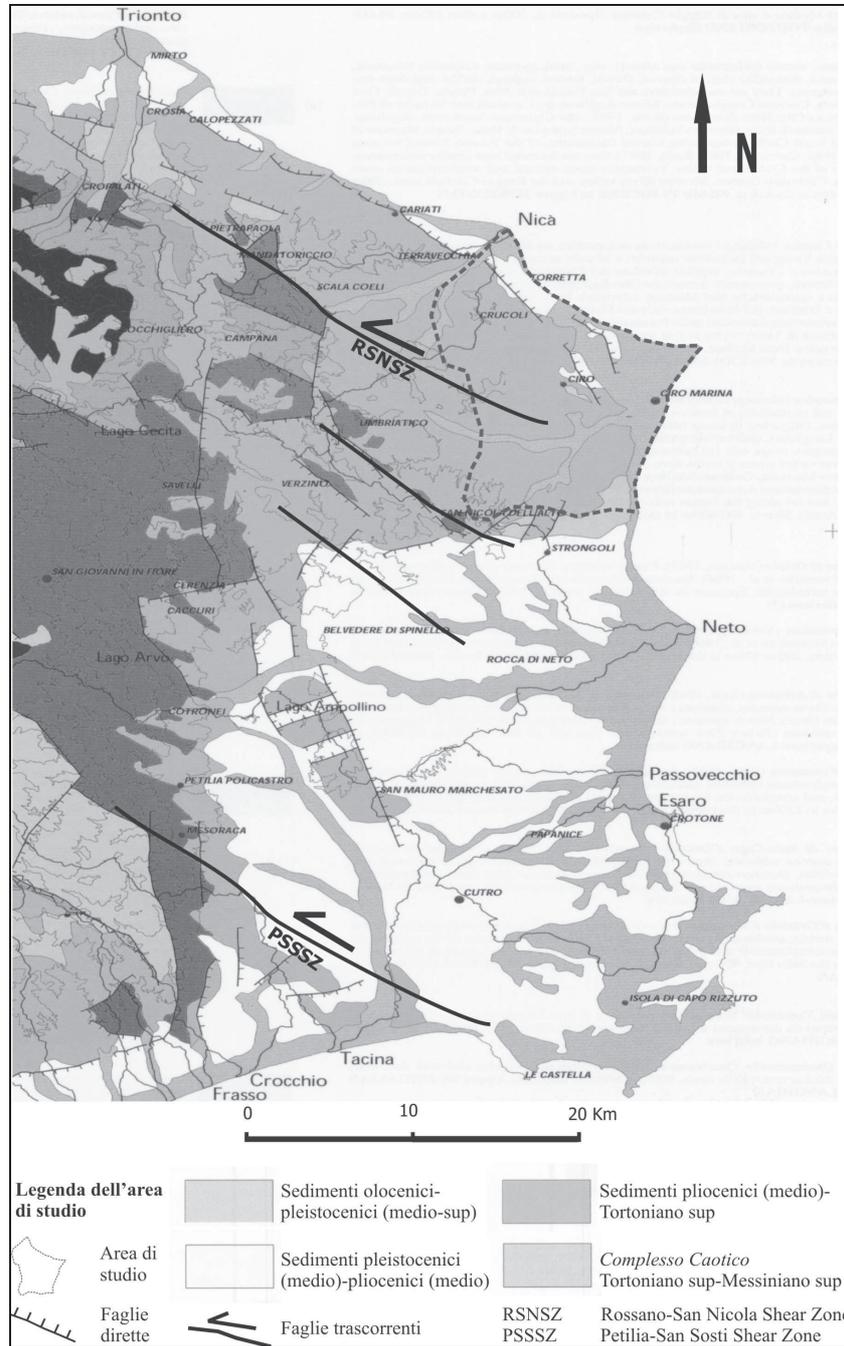
Da un punto di vista geologico-strutturale, l'area ricade nella parte più settentrionale della parte emersa del "Bacino di Crotona" (Fig. 1), delimitato ad Ovest dalle pendici orientali della Sila, a Nord e a Sud rispettivamente dalle faglie trascorrenti "Rossano-San Nicola", attiva certamente dal Pliocene Superiore fino al Pleistocene Medio (Moretti, 1999), e "Petilia-San Sosti", entrambe sinistre con andamento NW-SE (Van Dijk, 1990, 1991; Van Dijk & Okkes, 1990, 1991), e ad Est dall'attuale parte sommersa del bacino. Il Bacino Crotonese è riconosciuto come lembo settentrionale del Bacino Ionico (Cavazza & Celles, 1993; Cavazza et al., 1997; Bonardi et al., 2001), la cui attività è fatta risalire all'Oligocene Superiore (Cavazza et al., 1997). Il suo sviluppo si accompagna all'evoluzione subita dall'Arco Calabro (distacco dal Massiccio Sardo-Corso, migrazione in direzione SE e rotazione in senso antiorario), a seguito delle dinamiche prevalentemente estensionali che hanno segnato l'apertura del Bacino Tirrenico, iniziata tra il Serravalliano e il Tortonian (Mattei et al., 2002). Secondo la ricostruzione stratigrafica di Roda (1964), il Bacino Crotonese ha subito tre distinti cicli deposizionali di età neogenica, connessi ad una tettonica distensiva, corrispondenti a tre principali unità tettono-stratigrafiche, composte, ognuna, da più sequenze sedimentarie.

Nell'area in esame affiorano terreni sedimentari ascrivibili al Terziario (Miocene medio-superiore, Pliocene superiore) e al Quaternario (Pleistocene, Olocene). In particolare, ad ovest dell'abitato di Cirò ed in prossimità di Monte Bosco di Pescaldo si rinvengono i conglomerati costituiti da frammenti di scisti biotitici. Le colline ubicate nel bacino del Torrente Lipuda sono costituite da argille marnose. Le arenarie spesso si presentano associate alle marne e si ritrovano ad ovest dell'abitato di Cirò. Le argille policrome affiorano intercalate ai depositi miocenici e si presentano con colori variabili dal rosso violaceo al verde, al grigio piombo.

Al di sopra dei depositi miocenici, in discordanza, si trova la serie del Pliocene superiore caratterizzata da sabbie brunastre a cemento calcareo e da argille siltose grigio azzurre. I depositi pleistocenici sono rappresentati da sabbie e conglomerati bruno rossastri e ricoprono i terrazzi marini paralleli alla linea di costa. I sedimenti olocenici, infine, sono costituiti da dune sabbiose e da alluvioni.

Da un punto di vista morfologico l'area può essere suddivisa in due zone, procedendo dalla costa verso l'interno: la pianura costiera, costituita da una spiaggia prevalentemente sabbiosa, ed un entroterra, caratterizzato da morfologie irregolari, data la presenza di versanti ad evidente variabilità di pendenza.

In un'altra sezione del presente volume (Antronico e Scarpelli, 2007) è possibile approfondire gli aspetti geologico-geomorfologici dell'area di studio, prima sintetizzati.



**Fig. 1** - Inquadramento geologico-strutturale dell'area di studio nell'ambito del Bacino di Crotona (da Critelli e Le Pera, 2000, modificato)

## 2.2 Raccolta e gestione dati

I dati necessari per la mappatura delle ESAs, reperiti presso varie fonti (Tab. 3), sono stati necessariamente acquisiti in formati, scale di rappresentazione e proiezioni cartografiche diverse. Queste difformità hanno comportato una serie di aggiustamenti, in fase di elaborazione, in modo da renderli utilizzabili all'interno di un GIS appositamente implementato.

Categoria	Strato		Fonte
<b>Suolo</b>	Litologia		Carta geologica della Calabria in scala 1:25.000 (ex CASMEZ)
	Tessitura		Carta dei suoli del Comprensorio D.O.C. Cirò (scala 1:25.000), realizzata dall'Agenzia Regionale per lo Sviluppo e i Servizi in Agricoltura (ARSSA, 2002)
	Pietrosità		
	Profondità		
	Drenaggio		
Pendenza		DEM della Calabria con passo 20 m	
<b>Clima</b>	Precipitazioni		Centro Funzionale Strategico Meteo-Idrologico Mareografico (Regione Calabria): annali riguardanti il periodo 1921-2000, relativi a cinque stazioni meteorologiche (Crucoli, Cirò Marina, Montagna c.c., Scala Coeli e Strongoli)
	Indice di aridità (Bagnouls e Gausson)		
	Esposizione		DEM della Calabria con passo 20 m
<b>Vegetazione</b>	Grado di copertura vegetale		Carta dell'Uso Reale del Suolo del Comprensorio D.O.C. Cirò (scala 1:50.000), realizzata dall'Agenzia Regionale per lo Sviluppo e i Servizi in Agricoltura (ARSSA, 2002) su classificazione del Progetto Europeo Corine Land Cover
	Protezione dall'erosione		
	Resistenza alla siccità		
	Rischio di incendio		
<b>Gestione del territorio</b>	Intensità dell'uso del suolo	Destinazioni d'uso	Carta dell'Uso Reale del Suolo del Comprensorio D.O.C. Cirò (scala 1:50.000), realizzata dall'Agenzia Regionale per lo Sviluppo e i Servizi in Agricoltura (ARSSA, 2002) su classificazione del Progetto Europeo Corine Land Cover
		Consistenza degli allevamenti di bestiame	ISTAT - V Censimento Generale dell'Agricoltura (2000), dati su base comunale
	Implementazione delle politiche di tutela territoriale	Zone sottoposte a Vincolo Idrogeologico (RDL 3267/1923)	Corpo Forestale dello Stato
		"Aree protette": SIC - Siti di Importanza Comunitaria	Assessorato all'Ambiente della Provincia di Crotone
		Aree a Rischio Idrogeologico (DL 180/1998)	Autorità di Bacino della Calabria - Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico (PAI)

**Tab. 3** - Strati informativi utilizzati nella mappatura delle aree sensibili alla desertificazione e relative fonti per la raccolta dati

Il *software* adoperato per la gestione dei dati territoriali è stato ArcGIS, versione 9.1, prodotto dalla ESRI; il sistema di riferimento, European Datum 1950 (ED50); la rappresentazione cartografica, UTM (Universale Traversa di Mercatore). Tutti i tematismi sono stati georiferiti secondo questa proiezione.

### 2.3 Risultati

Le elaborazioni dei quattro indici di qualità hanno fornito i risultati riportati in tabella 4, dove sono descritte le estensioni, in km<sup>2</sup> e in percentuali, delle aree classificate, per ciascun indice di qualità, in funzione dei rispettivi *range* di valori.

Gli indici di qualità che maggiormente hanno inciso nel determinare le condizioni di criticità espresse dall'indice ESAI sono stati il VQI e l'MQI, in quanto, in base alla mappatura prodotta (Fig. 2), la maggior parte del territorio indagato si presenta in condizioni di bassa qualità per entrambi gli indici.

I due elaborati relativi agli indici finali, quello derivante esclusivamente dall'analisi delle componenti fisiche del sistema (ESAPI), e quello tratto dalla relazione tra le componenti fisiche e quelle socio-economiche gestionali (ESAI), hanno fornito i risultati espressi rispettivamente in tabella 5 e 6.

Classi	Descrizione	Intervalli	Estensione (Km <sup>2</sup> )	Percentuale (%)
<b>Indice di Qualità del Suolo</b>				
1	Buona qualità	<1.13	6.98	3.68
2	Media qualità	1.13÷1.45	154.74	81.47
3	Bassa qualità	>1.45	28.22	14.86
<b>Indice di Qualità del Clima</b>				
1	Buona qualità	<1.15	105.36	52.48
2	Media qualità	1.15÷1.81	95.39	47.52
3	Bassa qualità	>1.81	0.00	0.00
<b>Indice di Qualità della Vegetazione</b>				
1	Buona qualità	<1.13	6.22	2.96
2	Media qualità	1.13÷1.38	85.40	40.62
3	Bassa qualità	>1.38	118.61	56.42
<b>Indice di Qualità della Gestione</b>				
1	Buona qualità	<1.25	54.21	27.84
2	Media qualità	1.25÷1.50	35.45	18.21
3	Bassa qualità	>1.50	105.04	53.95

**Tab. 4 -** Classi ed estensioni relativi agli Indici di Qualità calcolati per l'area in studio

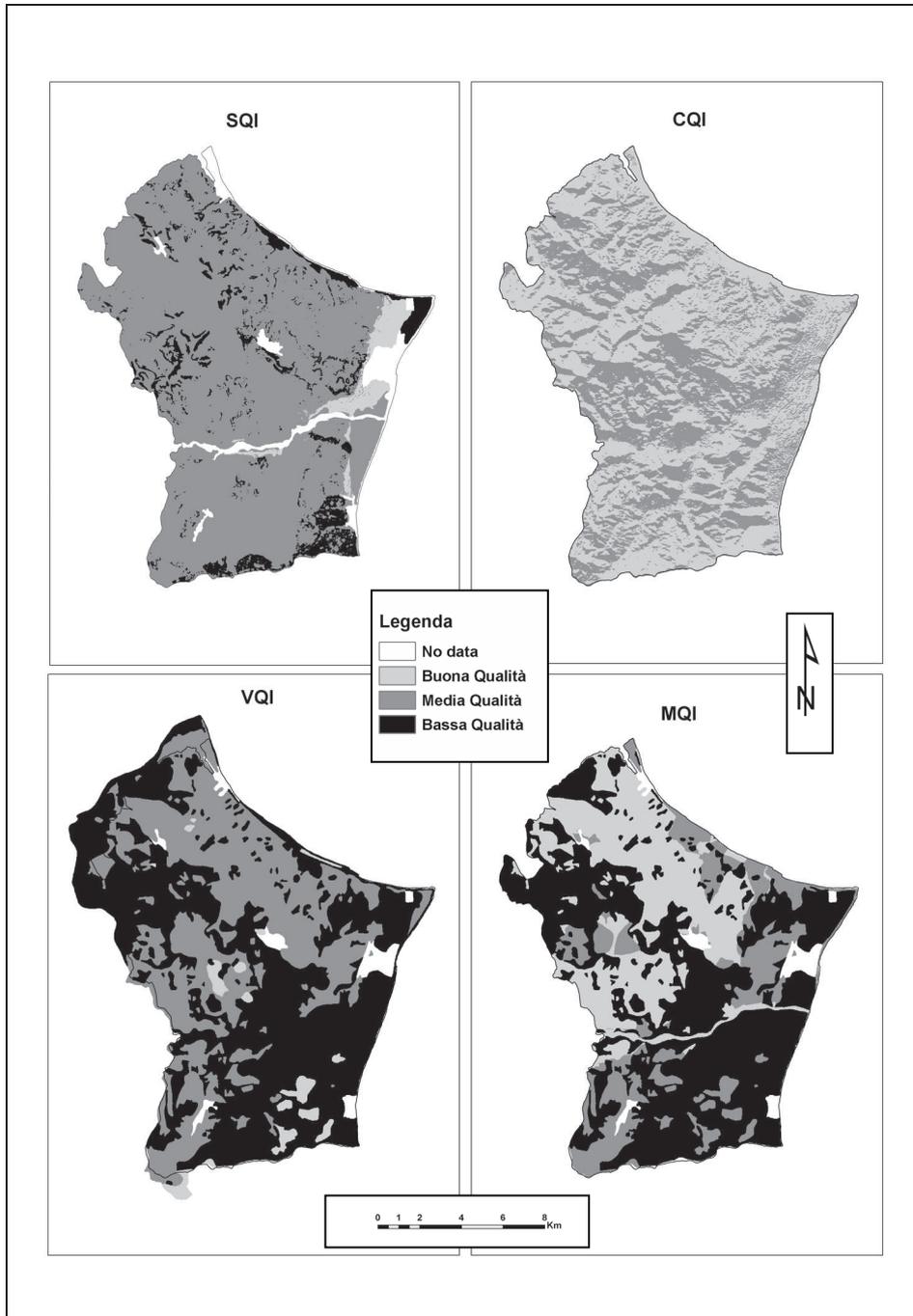


Fig. 2 - Mappe relative agli Indici di Qualità calcolati per l'area di studio

Classe	Estensione (km <sup>2</sup> )	Percentuale (%)	Sottoclasse	Intervalli	Estensione (km <sup>2</sup> )	Percentuale (%)
Non affetta	20.80	11.02	N	<1.18	20.80	11.02
Potenziale	38.59	20.44	P	1.18-1.23	38.59	20.44
Fragile	114.60	60.71	F1	1.23-1.27	35.51	18.81
			F2	1.27-1.33	56.61	29.99
			F3	1.33-1.39	22.48	11.91
Critica	14.79	7.84	C1	1.39-1.43	12.00	6.36
			C2	1.43-1.56	2.58	1.37
			C3	>1.56	0.21	0.11

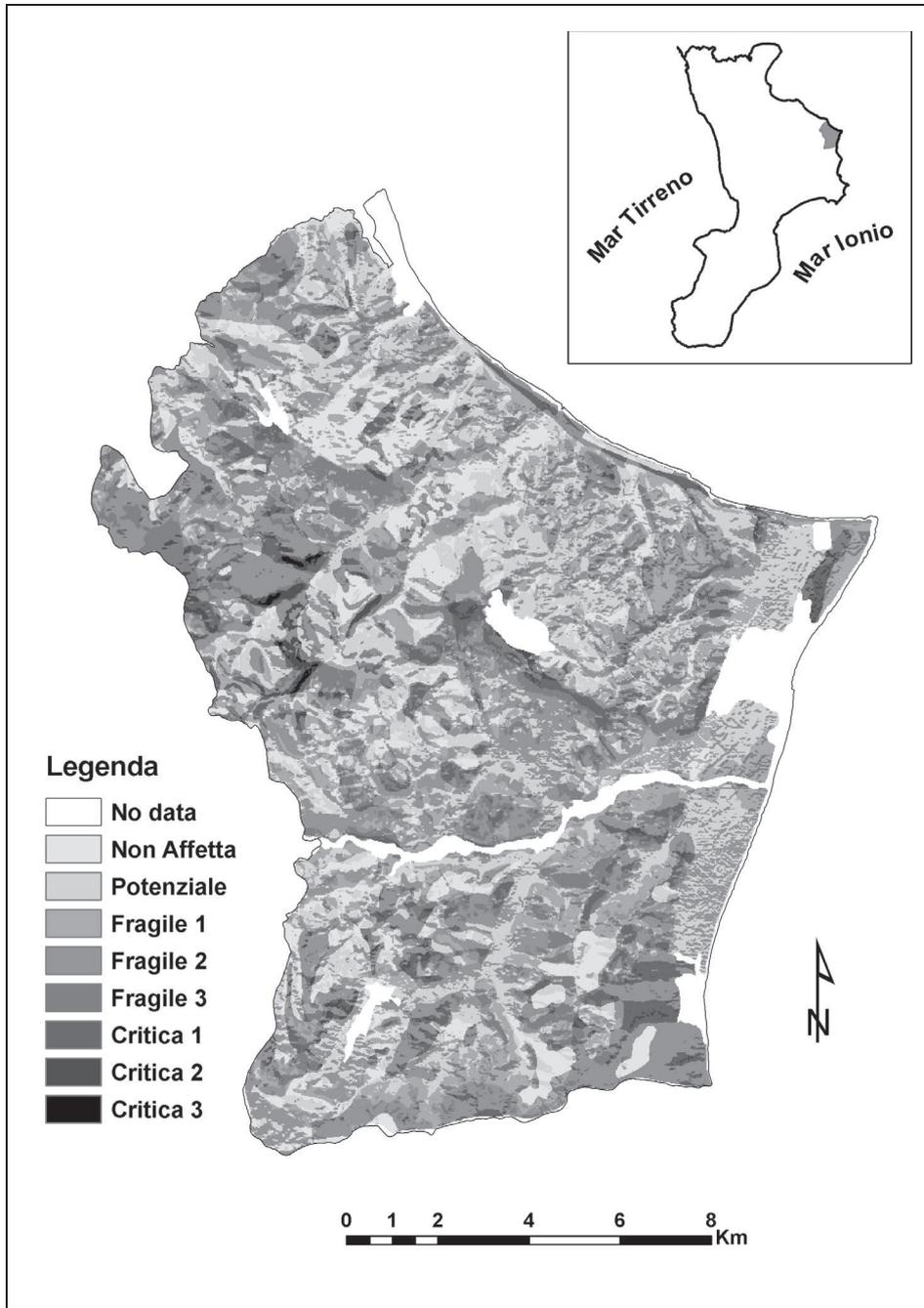
**Tab. 5** - Classi ed estensioni relativi all'Indice di Sensibilità Ambientale alla Desertificazione ESAPI calcolato per l'area di studio tenendo in considerazione esclusivamente le componenti fisiche territoriali

Classe	Estensione (km <sup>2</sup> )	Percentuale (%)	Sottoclasse	Intervalli	Estensione (km <sup>2</sup> )	Percentuale (%)
Non affetta	2.60	1.38	N	<1.17	2.60	1.38
Potenziale	25.22	13.37	P	1.17-1.22	25.22	13.37
Fragile	73.59	39.01	F1	1.23-1.26	25.43	13.48
			F2	1.27-1.32	24.43	12.95
			F3	1.33-1.37	23.73	12.58
Critica	87.27	46.25	C1	1.38-1.41	26.69	14.14
			C2	1.42-1.53	56.00	29.68
			C3	>1.53	4.58	2.43

**Tab. 6** - Classi ed estensioni relativi all'Indice di Sensibilità Ambientale alla Desertificazione ESAI per l'area di studio

Sulla base dei risultati (Coscarelli et al., 2005) relativi all'indice ESAPI (Fig. 3), le aree fragili sono diffuse senza particolari concentrazioni su tutto il territorio. Le aree critiche si distribuiscono con una elevata frammentazione lungo tutto l'areale indagato, ad eccezione di due aree della sottoclasse C1, ben distinguibili e collocate ad Ovest dell'abitato di Torre Melissa, e delle aree della sottoclasse C3, quelle con criticità maggiore, che si concentrano quasi esclusivamente nella zona nord-occidentale dell'area.

Il quadro ottenuto dall'elaborazione dell'indice ESAI (Fig. 4) rivela una sensibilità alla desertificazione della zona in studio ancora più spiccata. Gran parte del territorio risulta essere, infatti, già affetta da fenomeni di degrado, rientrando nella classe critica alla desertificazione con una percentuale del 46% circa. Le aree critiche sono concentrate nella zona nord-occidentale, centrale e sud-orientale dell'area. Nel seguito viene effettuata una descrizione di massima delle caratteristiche delle aree rientranti nelle diverse classi e sottoclassi dell'ESAI.



**Fig. 3** – *Mappa dell'Indice di Sensibilità Ambientale alla Desertificazione di tipo "Fisico" ESAPI (da Coscarelli et al., 2005)*

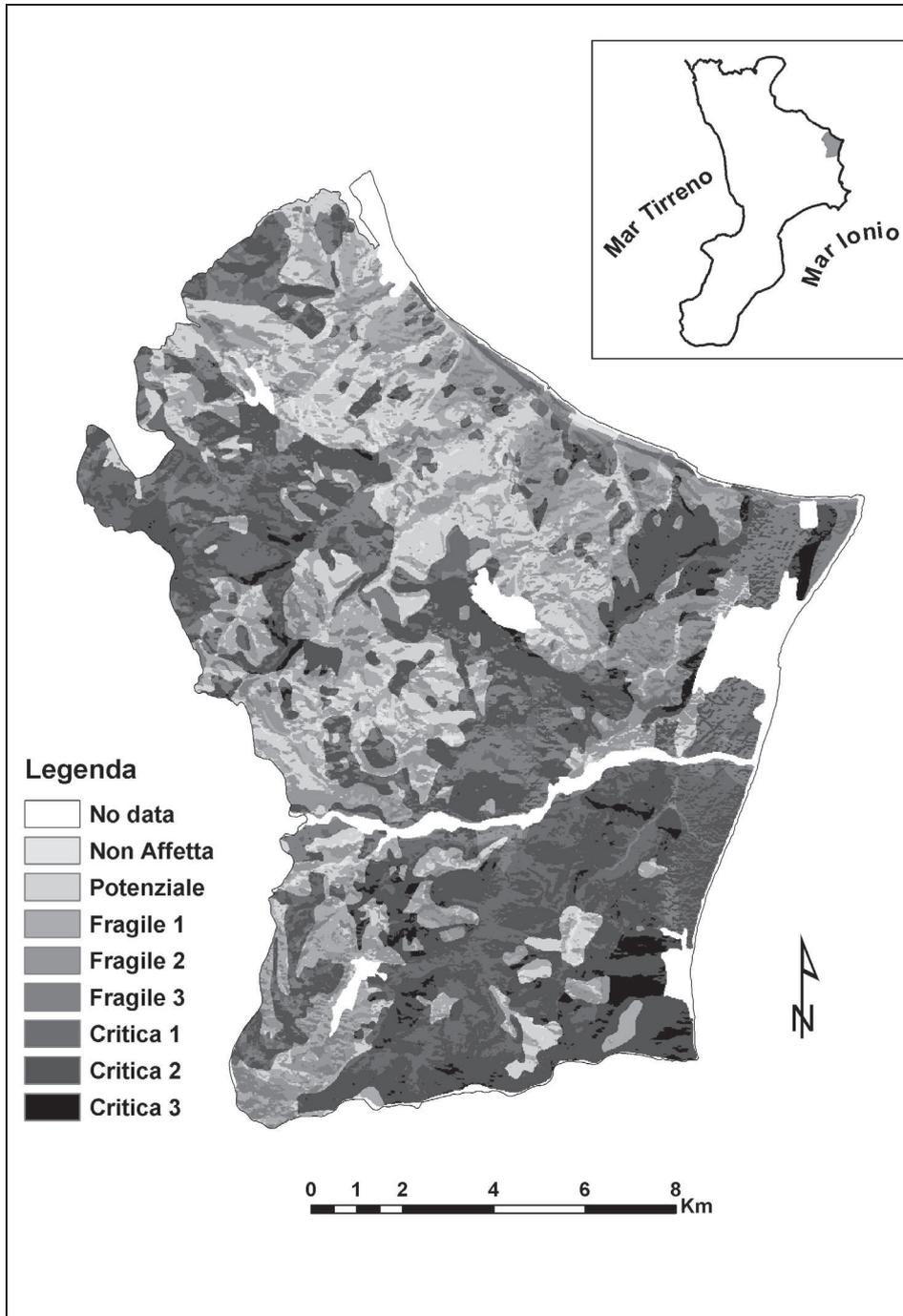


Fig. 4 – Mappa dell'Indice di Sensibilità Ambientale alla Desertificazione ESAI

**Sotto-classe C1:** sono aree costituite in massima parte da argille marnose mioceniche con pendenza da lieve ad elevata; sono esposte a Nord, con suoli a tessitura prevalentemente buona, che va da moderatamente grossolana a moderatamente fine. La pietrosità risulta variabile, la profondità elevata e il drenaggio da mediocre a lento. Si tratta di aree adibite in massima parte a vigneti e secondariamente a coltivazioni annuali e pascoli, ad elevata intensità d'uso, con un grado medio di copertura. Il rischio di incendio va da basso a moderato; su dette aree vi è una parziale o incompleta applicazione delle politiche di protezione ambientale.

**Sotto-classe C2:** sono localizzate prevalentemente in un'ampia fascia a Sud e a Nord del torrente Lipuda, quindi in una zona a Nord-Ovest dell'abitato di Ciro Marina, e in un'altra a Sud dell'abitato di Crucoli. Si tratta di aree caratterizzate quasi esclusivamente da argille e silt miocenici con intercalazioni arenacee, esposti prevalentemente a Sud. I suoli presentano tessitura da moderatamente grossolana a moderatamente fine; la pietrosità è inferiore al 20% e la profondità prevalentemente molto elevata. Il drenaggio risulta mediocre e la pendenza variabile. L'uso del suolo, ad elevata intensità, è dato dalla viticoltura e dal pascolo naturale, a medio grado di copertura. Nelle aree di questo sub-tipo prevale un'attuazione non completa delle politiche di tutela territoriale.

**Sotto-classe C3:** aree disposte prevalentemente nella zona orientale e meridionale dell'area, in particolare ad Ovest dell'abitato di Torre Melissa, ed esposte quasi esclusivamente a Sud. Le argille mioceniche prevalgono sulle sabbie e conglomerati pleistocenici e formano suoli con tessitura da media a fine; la pietrosità è molto variabile; la profondità prevalentemente presenta valori bassi; il drenaggio va da molto lento ad impedito; le pendenze sono elevate. La vegetazione è rappresentata da pascoli naturali, colture annuali e vigneti, che garantiscono una copertura vegetale complessivamente non superiore al 40%. Su queste aree, che presentano un rischio di incendio medio, si riscontra un'elevata intensità d'uso del suolo e una scarsa implementazione delle politiche di salvaguardia del territorio.

**Sotto-classe F1:** le aree sono costituite da argille e arenarie mioceniche, conglomerati e sabbie del Quaternario; sono esposte a Nord con pendenza da elevata a moderata. I suoli sono a tessitura prevalentemente buona, che va da media a fine; la pietrosità e la profondità risultano variabili ed il drenaggio da buono a mediocre. Si tratta di aree coperte in massima parte da oliveti o da macchia mediterranea, a bassa intensità d'uso, che offrono un grado di copertura medio-alto e una buona resistenza all'erosione; il rischio di incendio risulta variabile. Su queste aree vi è una moderata applicazione delle politiche di protezione ambientale.

**Sotto-classe F2:** aree caratterizzate da sabbie e conglomerati pleistocenici, argille e silt miocenici con intercalazioni arenacee, esposte prevalentemente a Sud. I suoli presentano tessitura da medio-fine a moderatamente grossolana; la pietrosità e la profondità risultano estremamente variabili. Anche il drenaggio e la pendenza risultano variabili. La vegetazione dominante è rappresentata da oliveti, a bassa intensità d'uso del suolo, che offre un grado medio di copertura; la resistenza offerta all'erosione risulta abbastanza alta; il rischio di incendio ri-

sulta elevato. Nelle aree di questo sub-tipo prevale un'attuazione parziale e/o non completa delle politiche di tutela territoriale.

**Sotto-classe F3:** aree disposte prevalentemente nella zona a Nord e a Sud dell'abitato di Cirò Marina, ed esposte in massima parte a Nord. Sono terreni impostati su argille mioceniche con intercalazioni di arenarie, alluvioni fissate e dune e sabbie eoliche stabilizzate dell'Olocene. La tessitura risulta compresa tra moderatamente grossolana e fine; la pietrosità è bassa; la profondità molto elevata; il drenaggio e la pendenza, che in ogni caso è inferiore al 35%, risultano variabili. La coltura principale è rappresentata dai vigneti mentre sono presenti in misura minore pascoli e uliveti. Il rischio di erosione risulta variabile a seconda della tipologia vegetale presente: è, infatti, alto per i vigneti e medio-basso per i pascoli e gli uliveti; il rischio di incendio basso. L'intensità d'uso del suolo risulta elevata e il grado di attuazione delle politiche di salvaguardia del territorio è in maggior parte di tipo moderato.

Le **aree potenzialmente affette** da desertificazione (P) sono localizzate in massima parte al Centro-Nord dell'area in studio. Si tratta di terreni impostati per lo più su arenarie e argille del Miocene, a pendenza medio-alta. I suoli presentano una tessitura da moderatamente grossolana a medio-fine, con pietrosità inferiori al 20%; la profondità è variabile da molto elevata a moderata e il drenaggio risulta da medio a buono. Queste aree si trovano di solito esposte a Nord. La vegetazione dominante è rappresentata dalla macchia mediterranea (50%) e dagli ulivi (40%). Queste tipologie vegetali sono caratterizzate da una protezione dall'erosione abbastanza alta, da un basso rischio di incendio per gli ulivi e medio-alto per la macchia. Il grado di copertura vegetale è variabile, da buono a discreto. Queste aree hanno principalmente un uso del suolo di bassa intensità con una parziale applicazione delle politiche di protezione ambientale.

Un'estensione minima, pari all'1% circa, è rappresentata invece da aree attualmente **non minacciate da desertificazione (N)** che si estendono ai margini delle aree della categoria precedente, generalmente in piano. In massima parte ricadenti su substrato arenaceo del Miocene, i suoli di questa classe possiedono una tessitura da medio-fine a moderatamente grossolana, sono molto profondi, a drenaggio misto da rapido a lento. La copertura vegetale, maggiore del 40%, è data quasi esclusivamente da macchia mediterranea e, secondariamente, da rimboschimenti di eucalipti. Entrambe le tipologie vegetative offrono un'alta protezione dall'erosione; il rischio di incendio risulta, invece, medio-alto. Tali aree sono caratterizzate da una parziale applicazione delle politiche di tutela ambientale e da una bassa intensità d'uso del suolo.

#### **2.4 Il ruolo della gestione del territorio**

Il confronto tra l'indice ESAPI ed ESAI evidenzia il ruolo fortemente condizionante svolto dalla gestione territoriale sull'instaurazione di fenomeni di degrado (Coscarelli et al., 2007): l'indice ESAI, infatti, come già riportato, scaturisce dall'inserimento dell'Indice di Qualità della Gestione nella procedura. Facendo un confronto tra i due indici ed evidenziando i cambiamenti di classe intercorsi

nel passaggio dall'ESAPI all'ESAI (Tab. 7), si rileva come il 77% circa delle celle cambia classe e, in particolare, il 76% circa verso un peggioramento della sensibilità ambientale al degrado (cifre a destra della diagonale): la gestione del territorio influisce quindi nell'incrementare situazioni di criticità.

Nello specifico, per la classe delle aree ad alto indice di criticità (C3) sono confermate tutte le celle (100%) già così classificate con l'ESAPI, a cui si aggiungono il 40% circa delle celle classificate come C2 e quasi il 30% delle C1. Si evidenzia, inoltre, che l'inserimento del fattore antropico determina addirittura il passaggio di circa il 19% di celle "potenzialmente affette" nella prima sottoclasse delle aree critiche (C1) e lo spostamento dell'11% di celle classificate nell'ESAPI come F1, nella seconda sottoclasse (C2) delle aree critiche.

Comunque il risultato più rilevante è fornito dal 61% circa delle celle C1 e da più dell'80% di celle F3 che "peggiorano" in C2.

Il ruolo fondamentale della gestione è anche dimostrato dal fatto che solo le limitate aree per le quali sono intervenute politiche di tutela hanno migliorato la sensibilità ambientale.

ESAI	N	P	F1	F2	F3	C1	C2	C3
ESAPI								
N	12.1	72.1	15.7	0	0	0	0	0
P	0.2	26.3	25.6	6.9	22.4	18.6	0	0
F1	0	0	33.4	19.7	22.3	13.7	10.8	0
F2	0	0.1	0.7	24.0	7.5	23.2	44.4	0
F3	0	0	0	5.0	9.9	3.8	81.3	0
C1	0	0	0	0.5	5.8	5.2	60.7	27.8
C2	0	0	0	0	0	0.1	59.1	40.8
C3	0	0	0	0	0	0	0	100

**Tab. 7** – Confronto tra gli indici ESAI ed ESAPI. I cambiamenti di classi al passaggio dall'ESAPI all'ESAI (da leggersi nel "verso" delle righe), espressi in percentuale rispetto alla classificazione ESAPI

### 3. Validazione

Un ottimo strumento operativo per quantificare la degradazione del suolo, e quindi la desertificazione, consiste nella misura della persistente riduzione della sua capacità funzionale. Questa può essere valutata mediante analisi di caratteri chimico-fisico-biologici e, pertanto, può essere monitorata nel tempo. Le procedure di validazione della metodologia adottata nello studio in parola si sono basate sulla valutazione della funzionalità del suolo e, quindi, del suo stato di qualità e della sua resilienza.

In maniera campionaria, in alcune zone dell'area di studio, sono stati prelevati campioni di suolo e su di essi effettuate analisi chimico-fisiche (presso i laboratori dell'Istituto per lo Studio degli Ecosistemi – CNR ISE - di Pisa) per valutare la qualità della sostanza organica e la presenza e attività di complessi umo-enzimatici.

Tutte le proprietà fisiche del terreno sono in stretta relazione con la quantità e la qualità della sostanza organica: variazioni anche piccole del suo contenuto provocano mutamenti consistenti delle caratteristiche fisiche del suolo. La presenza della sostanza organica determina le condizioni per una buona struttura del suolo, producendo una maggiore facilità di drenaggio, un miglioramento delle possibilità di penetrazione delle radici, nonché una maggiore resistenza del suolo alla compattazione o alla polverizzazione; infine, favorisce le condizioni ottimali per lo sviluppo e la funzione attiva della biomassa. Il possesso e la conservazione di una buona struttura del suolo sono aspetti connessi al fenomeno dell'erosione; questa, praticamente inesistente in condizioni normali in un suolo forestale, inizia dopo un'eventuale distruzione dello strato organico di residui vegetali parzialmente decomposti (lettiera). Il materiale organico contribuisce, inoltre, a mantenere nel terreno valori di pH ottimali per lo svolgimento di molte reazioni chimiche e dei processi biologici.

La sostanza organica si distingue in una componente labile (acidi alifatici ed aromatici, carboidrati, amminoacidi e loro derivati polimerici, lipidi ed altre sostanze organiche a basso peso molecolare), non umica (Schnitzer, 1991), e in una componente più stabile, meglio conosciuta come sostanza umica (Tate, 1987) (acidi fulvici e umici), in grado di resistere molto di più alla degradazione chimica e biologica rispetto alle sostanze non umiche. La sostanza umica può formare complessi stabili con gli enzimi extracellulari (complessi umo-enzimatici), rendendoli più resistenti alla degradazione proteolitica e capaci di funzionare anche in condizioni sfavorevoli alla vita microbica.

I complessi umo-enzimatici sono stati proposti come le ultime difese biologiche del suolo, quando è esposto ad un processo di degradazione grave e irreversibile, quale la desertificazione, o a forme di inquinamento cronico (Ceccanti e Masciandaro, 2003). Si possono, quindi, considerare dei "biomarcatori", in quanto riflettono lo stato metabolico del terreno e i cicli degli elementi nutritivi (C, N, P, S) attivati nei processi di mineralizzazione dei composti organici naturali.

La misura dell'attività di questi enzimi risulta un efficace parametro marcatore della bioattività generale del suolo e costituisce un buon approccio per monitorare l'evoluzione e la dinamica di un suolo soggetto a perturbazioni antropiche e/o naturali. La riduzione o distruzione di questi complessi umo-enzimatici può, infatti, condurre ad una perdita irreversibile di materia organica e, conseguentemente, alla desertificazione.

### ***3.1 Campagna di indagini***

La scelta dei siti di indagine è stata effettuata mirando ad individuare i più rappresentativi delle diverse situazioni di sensibilità alla desertificazione, definite in base alla classificazione ESAI ed ESAPI. Per quasi tutti i punti di prelievo si è potuto rispettare l'ulteriore criterio di scelta prefissato che mirava a campionare i diversi casi della classificazione ESAs in diverse condizioni di pendenza e mesoclima.

I campioni sono stati 16, relativi a dodici punti di prelievo (in quattro punti, sono stati prelevati due campioni per tener conto di alcune diversità del suolo puntuali e/o di differenti "condizioni al contorno"), e distribuiti in maniera abbastanza omogenea sul territorio in esame. I campioni sono stati prelevati per mezzo di una vanghetta per uno spessore di circa 20 cm e, asportando la porzione sommitale, sono stati imbustati in sacchetti di plastica trasparente ed etichettati con numerazione che "riprendeva" quella del campionamento dell'ARSSA (2002) effettuato in punti limitrofi. Le coordinate nel sistema di riferimento UTM ED 50 dei punti di prelievo sono riportate in tabella 8.

Punti	Coordinate piane UTM ED 50	
	N	E
3	4358439	681034
6	4355292	681470
12 ovest	4362196	680708
12 est	4362317	680799
21	4355173	676852
22	4368052	676115
22 a	"	"
22 b	"	"
25	4357428	674775
26	4359916	673492
27	4360933	678883
28	4352819	681000
28 bis	4352731	679201
31	4364503	680574
31 a	"	"
31 b	"	"

**Tab. 8** - *Punti di campionamento: coordinate nel sistema di riferimento UTM ED 50*

### 3.2 Metodologie analitiche adottate e risultati delle analisi

La caratterizzazione chimico-strutturale della sostanza organica è stata effettuata mediante la tecnica della pirolisi gas-cromatografica a cui sono state affiancate altre analisi chimico-fisiche convenzionali, quali la granulometria e la stabilità degli aggregati. La caratterizzazione dei complessi umo-enzimatici è stata compiuta mediante la combinazione di due tecniche separative, quali l'ultrafiltrazione su membrana (UF) e l'isoelettrofocalizzazione (IEF). I risultati delle analisi effettuate sui campioni sono riportati in tabella 9.

### 3.3 Analisi statistica multivariata

I risultati delle analisi chimico-fisiche effettuate sui campioni di suolo sono stati oggetto di un'indagine statistica multivariata.

In una prima fase è stato necessario analizzare il grado di correlazione esi-

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
3	73.00	5.00	22.00	18.27	8.71	0.26	1.55	1.66	0.12	2.67	208.74
6	37.90	20.00	42.00	18.91	8.07	0.21	1.35	3.06	0.09	2.32	114.30
12 est	73.00	5.00	22.00	14.59	7.73	0.16	0.70	0.00	0.03	1.20	46.44
12 ovest	93.00	5.00	2.00	0.17	8.13	0.19	0.08	0.00	0.00	0.13	6.22
21	52.90	30.00	17.10	1.35	7.93	0.20	0.73	2.54	0.03	1.26	83.19
22	73.00	25.00	2.00	26.25	8.51	0.22	2.19	0.96	0.16	3.77	83.57
22 a	63.00	20.00	17.00	3.79	7.92	0.21	1.97	1.75	0.11	3.39	38.42
22 b	42.70	27.10	30.30	9.60	7.86	0.21	1.01	2.72	0.05	1.74	13.00
25	42.00	34.80	23.20	30.66	7.43	0.22	3.31	0.70	0.27	5.69	140.90
26	62.30	16.70	21.00	0.83	7.87	0.19	0.68	0.17	0.05	1.17	39.84
27	44.30	24.40	31.30	1.92	7.89	0.17	0.39	0.00	0.00	0.67	15.40
28	23.90	31.00	45.10	0.17	8.08	0.43	1.48	1.61	0.09	2.55	198.26
28 bis	51.50	22.40	26.10	14.35	8.07	0.22	2.05	2.03	0.12	3.53	225.06
31	74.20	12.10	13.70	9.38	8.08	0.19	0.65	0.03	0.03	1.11	57.43
31 a	75.50	5.00	19.50	16.31	8.00	0.17	1.00	0.05	0.06	1.72	57.64
31 b	1.30	0.88	2.07	804	895	426	2317	1051	1266	0.300	0.490
<p>A=Sabbia [%]      D=IS [%]      G=Carbonio organico [%]      J=S.O. [%]  B=Limo [%]      E=pH      H=Carbonio inorganico [%]      K=Attività β-glucosidasi totale  C=Argilla [%]      F=EC [mS/cm]      I=Azoto totale [%]      [μgPNF/gss]</p>											
	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V
3	3.36	1.12	2.13	461	2301	1151	7469	2714	4781	0.893	0.584
6	9.17	1.05	1.66	445	2494	1247	6192	2044	4148	1.059	0.518
12 est	9.54	0.80	1.48	316	1507	579	3884	1722	2162	0.379	0.499
12 ovest	4.48	0.67	1.72	316	391	175	2038	563	1476	0.770	0.610
21	4.29	1.40	2.71	396	917	499	3283	1491	1792	0.800	0.346
22	0.36	1.61	4.35	622	3267	947	11160	4635	6525	0.855	0.661
22 a	0.55	1.48	2.41	489	4619	3783	10012	5279	4733	1.220	0.690
22 b	1.67	1.61	3.05	332	3299	899	4094	1706	2388	0.770	0.640
25	8.98	1.38	2.78	632	5199	5011	14948	2724	12224	1.487	0.644
26	1.11	1.55	2.73	477	1148	955	4544	2746	1798	0.740	0.610
27	0.00	1.38	2.80	407	547	453	2918	1373	1545	1.200	0.630
28	5.98	1.23	2.32	568	1529	1000	5102	1936	3166	0.940	0.580
28 bis	1.30	1.53	2.95	665	1727	1526	7276	3315	3960	1.060	0.710
31	8.23	1.66	3.36	294	1330	1035	4228	2038	2189	1.343	0.544
31 a	1.30	1.50	2.90	332	1920	1473	6255	4506	1749	0.819	0.638
31 b	15.16	0.88	2.07	804	895	426	2317	1051	1266	0.300	0.490
<p>L=Attività β-glucosidasi extracellulare [μgPNF/gss]      Q=Carbonio extracellulare frazione [μgC/gss]  M=Attività β-glucosidasi dopo IEF (banda 3)      R=Carbonio estraibile totale [μgC/gss]  [μgPNF/gss]      S=Carbonio fulvico [μgC/gss]  N=Attività β-glucosidasi dopo IEF (bande 3+4)      T=Carbonio umico [μgC/gss]  [μgPNF/gss]      U=Indice di mineralizzazione (furfurolo/pirrolo)  O=Carbonio idrosolubile [μgC/gss]      V=Indice di umificazione (benzene/toluene)  P=Carbonio extracellulare [μgC/gss]</p>											

Tab. 9 – Risultati delle analisi effettuate sui campioni

stente tra le diverse variabili e verificare se tutte le variabili avessero i requisiti minimi per poter essere sottoposte ad una successiva analisi fattoriale<sup>1</sup>.

Quindi è stata effettuata l'analisi dei fattori mediante la tecnica delle componenti principali per l'estrazione dei fattori comuni. Attraverso di essa sono stati estratti cinque fattori per una varianza spiegata pari all'80,5% (autovalori: 9.39621, 3.22064, 2.62703, 1.93993, 1.08572).

I fattori 1, 3 e 5 sono stati considerati i più significativi da un punto di vista fisico, chimico e biologico. In base alla posizione delle variabili, in funzione dei pesi relativi al fattore 1 rispetto al fattore 3 (Fig. 5a) e al fattore 5 (Fig. 5b), ne sono state scelte tre (*IS - indice di stabilità degli aggregati*, *IEF 3 - attività IEF nella banda 3*, e *acidi umici*) per eseguire, successivamente, un'analisi discriminante.

È stata, quindi, ricavata una classificazione accorpando i campioni in quattro gruppi (la cui denominazione segue la classificazione ESAs) sulla base della loro collocazione in uno spazio tridimensionale (Fig. 6) descrivente i punteggi delle tre variabili più significative, ovvero *IS - indice di stabilità degli aggregati* e *IEF 3 - attività IEF nella banda 3*, disposti, rispettivamente, lungo l'asse delle X, Y, e acidi umici, disposti lungo l'asse Z identificato con diversi tratteggi.

Successivamente, sulle variabili scelte, mediante l'analisi fattoriale, è stata effettuata un'analisi discriminante della classificazione ricavata. L'analisi ha dato i seguenti risultati:

- $\text{Lambda Wilks}^2 = 0.0095792$ ;
- $F^3 = 6.574656$ ;
- $p^4 < 0.0000$ .

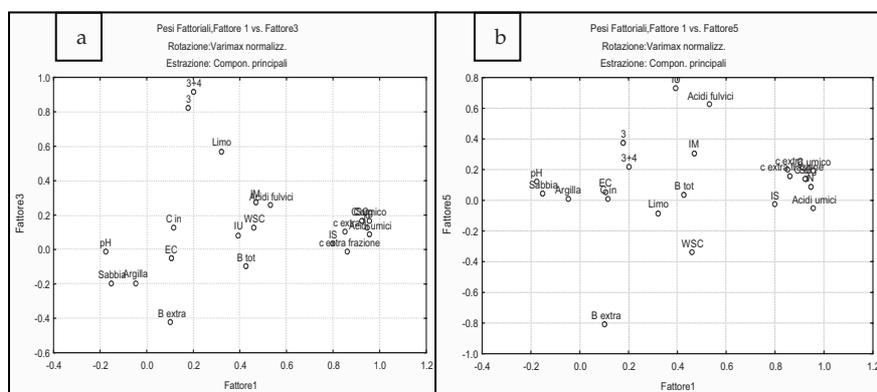


Fig. 5 – Pesì fattoriali relativi al fattore 1 rispetto, rispettivamente, al fattore 3(a) e al fattore 5(b)

<sup>1</sup> Prima di individuare la matrice dell'analisi fattoriale, infatti, è necessario compiere delle osservazioni sui dati di partenza, in base alla loro quantità, qualità, rilevazione e presenza di legami, nonché l'esistenza di intercorrelazioni forti.

<sup>2</sup> Il valore lambda Wilks indica la discriminazione e varia tra 0 e 1; se è uguale a zero la discriminazione è perfetta, mentre se è uguale a 1 la discriminazione è nulla.

<sup>3</sup> F deve essere elevato.

<sup>4</sup> p deve essere inferiore a 0.05

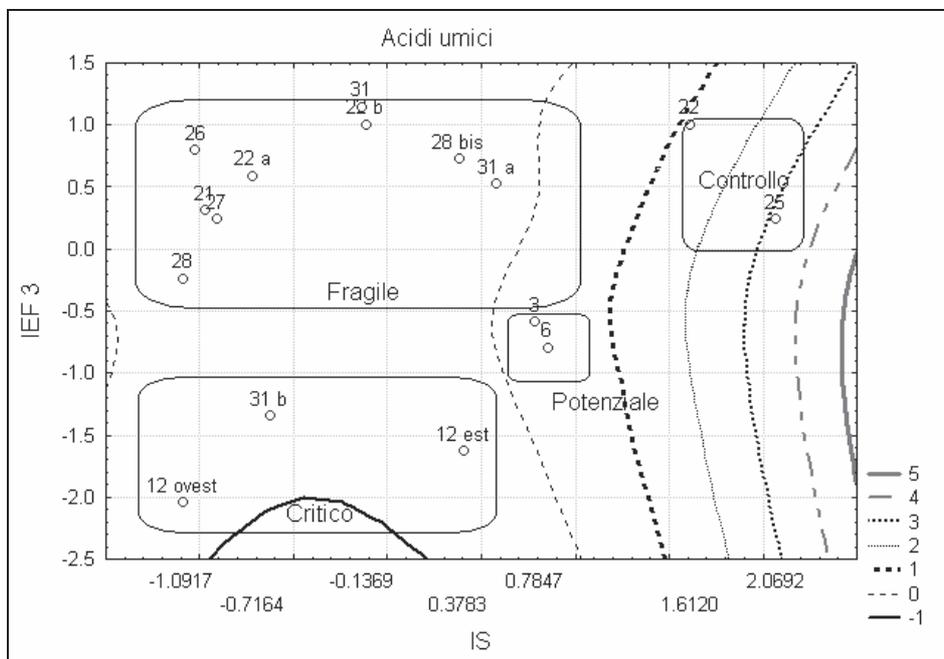


Fig. 6 – Pesi fattoriali con rapporto tra il fattore 1 e il fattore 3

Dall'analisi discriminante è emerso che la classificazione ottenuta dall'analisi fattoriale riesce a discriminare i vari gruppi di campioni con buoni livelli di significatività (Tab. 10). Si fa rientrare tra i gruppi ben discriminati anche quello Potenziale rispetto al Critico, essendo il valore di significatività di poco superiore al valore soglia (0.05). Le previsioni sono corrette con percentuale pari al 100% in tutti i casi (Tab. 11).

Questa analisi discriminante conferma che le analisi chimico-fisiche sono in grado di differenziare le diverse condizioni dei suoli.

Per validare le procedure ESAPI ed ESAI, è stata effettuata anche un'analisi discriminante sui fattori estratti dall'analisi delle componenti principali utilizzando le classificazioni ESAs.

NuoVar	p-level (Spreadsheet5.sta)			
	Controllo	Potenziale	Critico	Fragile
<b>Controllo</b>				
<b>Potenziale</b>	0.003097			
<b>Critico</b>	0.000131	0.054114		
<b>Fragile</b>	0.007746	0.035923	0.000235	

Tab. 10 – Analisi discriminante: livelli di significatività dei gruppi. Evidenziato il valore di significatività tra i gruppi Critico e Potenziale al limite del valore soglia (pari a 0.05): viene fatto rientrare tra i livelli significativi

Gruppo	Matr. Classificazione (Spreadsheet5.sta)				
	Righe: Classificazioni osservate Colonne: Classificazioni previste				
	% Corretto	Controllo	Potenziale	Critico	Fragile
Controllo	100	2	0	0	0
Potenziale	100	0	2	0	0
Critico	100	0	0	3	0
Fragile	100	0	0	0	9
Totale	100	2	2	3	9

**Tab. 11** – *Analisi discriminante: matrice di classificazione. Percentuali delle previsioni corrette per ciascun gruppo*

In questo caso, la variabile di classificazione è appunto ESAPI o ESAI, con i rispettivi casi relativi ai campioni:

- NA, P, F1, F2, C1 e C2 per ESAPI;
- P, F1, F2, F3, C2 e C3 per ESAI.

L'analisi discriminante nel caso ESAPI ha dato i seguenti risultati:

- Lambda Wilks = 0.0398416;
- F = 2.135186;
- $p < 0.0163$ .

I livelli di significatività, come appare in tabella 12, sono migliori del valore soglia ( $p = 0.05$ ) in tutti i casi tranne tre (C2 rispetto F2, F1 e NA), e in un caso (P riguardo F1) si ha valore di poco superiore alla soglia. Le previsioni sono corrette con percentuale pari al 100% in quattro casi su sei, mentre nei restanti casi la percentuale scende al 67% circa (Tab. 13).

Se ne deduce, pertanto, che il modello ESAPI discrimina i gruppi nel complesso, anche se fallisce qualche caso di predizione.

Nel caso ESAI i dati riguardanti l'analisi discriminante sono stati:

- Lambda Wilks = 0.07010;
- F = 1.6158;
- $p < 0.0873$ .

I livelli di significatività sono stati giudicati nel complesso inaccettabili. Dalla tabella 14 si osserva che sono più alti del valore soglia in tutti i casi tranne tre (F3 rispetto F2, F1 e P).

ESAPI	p-level (Spreadsheet5.sta)				
	3-F1	2-P	4-F2	1-NA	7-C2
3-F1					
2-P	0.051846				
4-F2	0.283500	0.178371			
1-NA	0.290233	0.178791	0.584385		
7-C2	0.002169	0.306034	0.006883	0.018089	
6-C1	0.235033	0.335331	0.093183	0.187989	0.122863

**Tab. 12** – *Analisi discriminante: livelli di significatività della classificazione ESAPI. I livelli di significatività sono maggiori del valore soglia ( $p = 0.05$ ) nella maggioranza dei casi*

Gruppo	Matr. Classificazione (Spreadsheet5.sta)						
	Righe: Classificazioni osservate Colonne: Classificazioni previste						
	% Corretto	F1	P	F2	NA	C2	C1
F1	66.7	6	0	1	1	0	1
P	100	0	2	0	0	0	0
F2	66.7	0	0	2	1	0	0
NA	100	0	0	0	2	0	0
C2	100	0	0	0	0	2	0
C1	100	0	0	0	0	0	2
Totale	88.9	6	2	3	4	2	3

**Tab. 13** – Analisi discriminante: matrice di classificazione per il caso ESAPI. Percentuali delle previsioni corrette per ciascun gruppo

ESAI	p-level (Spreadsheet5.sta)				
	4-F2	5-F3	7-C2	8-C3	3-F1
4-F2					
5-F3	0.027985				
7-C2	0.745416	0.114153			
8-C3	0.335001	0.127586	0.717454		
3-F1	0.453991	0.020959	0.552719	0.145731	
2-P	0.243279	0.032423	0.408220	0.245308	0.654225

**Tab. 14** – Analisi discriminante: livelli di significatività della classificazione ESAI. I livelli di significatività sono maggiori del valore soglia ( $p = 0.05$ ) nella maggioranza dei casi

Le previsioni corrette al 100% sono tre su sei casi, e, nel complesso, la percentuale di previsione corretta supera di poco l'80% (Tab. 15). Se ne deduce, di conseguenza, che il modello ESAI non discrimina bene i gruppi.

Gruppo	Matr. Classificazione (Spreadsheet5.sta)						
	Righe: Classificazioni osservate Colonne: Classificazioni previste						
	% Corretto	F2	F3	C2	C3	F1	P
F2	50.0000	2	0	0	0	2	0
F3	100.0000	0	3	0	0	0	0
C2	100.0000	0	0	4	0	0	0
C3	66.6667	1	0	0	2	0	0
F1	75.0000	0	0	0	0	3	1
P	100.0000	0	0	0	0	0	2
Totale	81.94445	3	3	4	2	5	3

**Tab. 15** – Analisi discriminante: matrice di classificazione per il caso ESAI. Percentuali delle previsioni corrette per ciascun gruppo

#### 4. Conclusioni

I risultati ottenuti dall'applicazione della metodologia ESAs all'area di studio offrono un quadro molto dettagliato della sua sensibilità alla desertificazione.

Secondo la classificazione ESAI, il 46% circa del comprensorio del Cirò rientra nella classe definita critica, ossia quella in cui i fenomeni di degrado sono già particolarmente evidenti, quali perdita di suolo ed erosione accelerata. Diversamente, in base alla classificazione ESAPI, mediante la quale si esprime la naturale predisposizione del territorio ai fenomeni di degrado, senza tener conto della componente antropica, l'area in studio risulta in massima parte fragile (60%). Confrontando le suddette classificazioni, si comprende quanto la gestione territoriale giochi un ruolo determinante nello sviluppo dei fenomeni di desertificazione.

La validazione dei risultati ottenuti dall'applicazione della metodologia ESAs è stata effettuata mediante analisi chimico-fisico-biologiche su alcuni campioni di suolo, miranti, tra l'altro, alla ricerca della presenza e attività di complessi umo-enzimatici, indicatori della vitalità di un suolo e delle sue capacità di recupero, di produttività e funzionalità. L'idoneità della procedura utilizzata per la descrizione delle condizioni del suolo è stata confermata dalle analisi statistiche effettuate a corredo della validazione stessa. Le stesse indagini statistiche sono state applicate alle classificazioni ESAI ed ESAPI, per operare una verifica della loro funzionalità a descrivere la propensione alla desertificazione del territorio indagato.

Questa procedura analitica ha fornito risultati molto interessanti, che solo apparentemente sembrano fallire il loro obiettivo di validare la metodologia ESAs. Ciò che è emerso è un quadro che illustra le condizioni attuali del suolo, che ben si allinea con le indicazioni presentate dall'indice ESAPI, basato sulla considerazione dei fattori relativi al suolo, al clima e alla vegetazione. I risultati dimostrano che il processo di degradazione del suolo è avanzato a gradi diversi nel territorio esaminato, anche se non sono fornite indicazioni sulla tendenza futura, che può essere invece predetta dall'indice ESAI, considerando anche i fattori economico-gestionali e di uso del suolo.

La strada tracciata in questo studio circa la validazione dei risultati si ritiene possa condurre ad interessanti risultati se applicata per la creazione di un sistema di monitoraggio, con campionamenti periodici, osservando le variazioni nel tempo dei parametri descrittivi del degrado.

#### **RINGRAZIAMENTI**

*Si ringrazia la Dott.ssa Eleonora Peruzzi, del CNR-ISE di Pisa, per il contributo fornito nella elaborazione statistica dei dati.*

#### **Bibliografia**

- Antronico L. e Scarpelli M. (2007). *Valutazione dei cambiamenti di uso del suolo e dei fenomeni erosivi in un'area di studio del crotonese (Calabria, Italia)*. Presente Volume.
- ARSSA-Agenzia Regionale per lo Sviluppo e per i Servizi in Agricoltura (2002). *Carta dei Suoli e Zonazione Viticola del Cirò DOC (scala 1: 25.000)*.
- Bonardi G., Cavazza W., Perrone V. e Rossi S. (2001). *Calabria-Peloritani terrane and northern Ionian Sea*. In: *Anatomy of an Orogen: The Apennines and Adjacent Mediterranean Basins* (Ed. by G.B. Vai & I.P. Martini), pp.287-306. Kluwer Academic Publishers, Bodmin.
- Caloiero T. e Coscarelli R. (2007). *Valutazione di trend climatici in un'area del versante ionico della Calabria*. Presente Volume

- Cavazza W. e De Celles P.G. (1993). *Miocene submarine canyons and associated sedimentary facies in southeastern Calabria, southern Italy*. GSA Bull., 105, 1297–1309.
- Cavazza W., Blenkinsop J., De Celles P.G., Patterson R.T. e Reinhardt E.G. (1997). *Stratigrafia e sedimentologia della sequenza sedimentaria oligocenico-quadernaria del bacino calabro-ionico*. Boll. Soc. Geol. It., 116, 51–77.
- Ceccanti B. e Masciandaro G. (2003). *Stable humus-enzyme nucleus: the last barrier against soil desertification*. In: Preserving soil quality and soil biodiversity-The role of surrogate indicators. M.C. Lobo & J.J. Ibanez (eds.) pp. 77-82. CSIC-IMIA, Madrid.
- Coscarelli R., Minervino I., Sorriso-Valvo M. (2005). *Methods for the characterization of areas sensitive to desertification: an application to the Calabrian territory (Italy)*. Geomorphological Processes and Human Impacts in River Basins (Proceedings of the International Conference held at Solsona, Catalonia, Spain, May 2004). IAHS Publ. 299, 2005.
- Coscarelli R., Minervino I., Sorriso-Valvo M. (2007). *L'influenza dei fattori antropici nei fenomeni di degrado del suolo. Un caso di studio nel Crotonese*. Atti della VII Giornata dell'Acqua "La crisi dei sistemi idrici: approvvigionamento agro-industriale e civile" (22 marzo 2007). In stampa.
- Critelli S. e Le Pera E. (2000). *Carta geologica della Calabria in scala 1:330.000*. In: Valutazione delle piene in Calabria. CNR-IRPI GNDCI.
- EC-European Commission (1999). *The Medalus project Mediterranean desertification and land-use. Manual on key indicators of desertification and mapping environmentally sensitive areas to desertification*. Ed. by C. Kosmas, M. Kirkby & N. Geeson. EUR 18882.
- Ferrara A. e Kosmas C. (2004). *Expert system for evaluating the Environmental Sensitivity Index (ESI) for a local area: methodology*. In: DISforME-Desertification Indicators System for Mediterranean Europe. www.unibas.it/desertnet/esi/method.htm
- Mattei M., Cipollari P., Cosentino D., Argentieri A., Rossetti F., Speranza F. e Di Bella L. (2002). *The Miocene tectono-sedimentary evolution of the southern Tyrrhenian Sea: stratigraphy, structural and palaeomagnetic data from the on-shore Amantea basin (Calabrian Arc, Italy)*. Basin Res., 14, 147–168.
- Minervino I. (2007). *Desertificazione: criteri e metodi di valutazione e riduzione del rischio*. Tesi di Dottorato in Scienze della Terra, XVII Ciclo, Univ. degli Studi della Calabria.
- Moretti A. (1999). *Faglie attive della Calabria settentrionale – Progetto 5.1.2 "Inventario delle faglie attive e dei terremoti ad esse associabili" – GNDT: Aggiornamenti e contributi dalle UR* – [http://emidius.mi.ingv.it/GNDT/P512/UR\\_UNICS.html](http://emidius.mi.ingv.it/GNDT/P512/UR_UNICS.html)
- Roda C. (1964). *Distribuzione e facies dei sedimenti Neogenici nel Bacino Crotonese*. Geol. Romana, 3, 319–366.
- SAR-Servizio Agrometeorologico Regionale per la Sardegna (2004). *Carta delle Aree Sensibili alla Desertificazione, scala 1:100.000*. Relazione tecnica.
- Schnitzer M. (1991). *Soil organic matter. The next 75 years*. Soil Sci. 151, pp.41-58.
- Tate R.L. III (1987). *Source and transformation of readily metabolised organic matter*. In: Soil Organic Matter. Biological and Ecological Effects. Wiley, pp.69-94.
- Van Dijk J.P. (1990). *Sequence stratigraphy, kinematic geohistory of the Croton Basin (Calabrian Arc, Central Mediterranean): an integrated approach*. Mem. Soc. Geol. Ital., 44, pp.259-285.
- Van Dijk J.P. (1991). *Basin dynamics and sequence stratigraphy in the Calabrian Arc (Central Mediterranean); records and pathways of the Croton Basin*. Geol. Mijnbouw, 70, 187–201.
- Van Dijk J.P. e Okkes F.W.M. (1990). *The analysis of shear zones in Calabria; implications for the geodynamics of the Central Mediterranean*. Riv. Ital. Paleontol. Stratigr., 96, 241–270.
- Van Dijk J.P. e Okkes F.W.M. (1991). *Neogene tectonostratigraphy and kinematics of Calabrian basins; implications for the geodynamics of the Central Mediterranean*. Tectonophysics, 196, pp.23–60.