

Ministero  
dell'Università  
e della Ricerca



Consiglio  
Nazionale  
delle Ricerche

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

a cura di  
**ROBERTO COSCARELLI**



**NUOVA BIOS**





*Il Progetto I.S.PA.RI.DE.*

**Identificazione e Stima  
dei Parametri per la valutazione  
del Rischio di Desertificazione**

*a cura di*

ROBERTO COSCARELLI



Nuova Bios

ISBN: 978-88-6093-025-5

*Foto di copertina di I. Minervino*

© 2007 by Nuova Editoriale Bios  
Via A. Rendano, 25 – 87040 Castrolibero (CS)  
Casella postale 449 – Tel. 0984 854149 – Fax 0984 854038  
www.edibios.it – e-mail: info@edibios.it

---

Tutti i diritti riservati – *All rights reserved*

---

Nessuna parte del presente volume può essere riprodotta con qualsiasi mezzo (fotocopia compresa) senza il permesso scritto dell'editore

---

Finito di stampare nel mese di settembre 2007

## INDICE

<b>Presentazioni</b>	pag. 7
<i>L. Criscuoli, G. Cavarretta, L. Ubertini</i>	
<b>Introduzione</b>	“ 13
<i>R. Coscarelli</i>	
<b>Il fenomeno della desertificazione e gli indicatori per la sua valutazione</b>	“ 17
<i>R. Coscarelli, I. Minervino, M. Sorriso-Valvo</i>	
<b>Valutazione di trend climatici in un'area del versante ionico della Calabria</b>	“ 41
<i>T. Caloiero, R. Coscarelli</i>	
<b>Analisi della qualità della sostanza organica e dei complessi umo-enzimatici per la valutazione del rischio di desertificazione</b>	“ 59
<i>B. Ceccanti, G. Masciandaro, S. Doni, C. Macci</i>	
<b>Applicazione della metodologia ESAs in un'area di studio e validazione con dati di campo</b>	“ 73
<i>R. Coscarelli, B. Ceccanti, G. Masciandaro, I. Minervino, M. Sorriso-Valvo</i>	
<b>Utilizzo dell'analisi fattoriale nella costruzione di un indicatore composto per lo studio della desertificazione</b>	“ 99
<i>M. Cordasco, R. Coscarelli, G. Martirano</i>	
<b>Valutazione dei cambiamenti di uso del suolo e dei fenomeni erosivi in un'area di studio del Crotonese (Calabria, Italia)</b>	“ 119
<i>L. Antronico, M. Scarpelli</i>	
<b>Tecniche di telerilevamento satellitare per la stima degli impatti sulla sensibilità alla desertificazione causati dalle dinamiche della copertura vegetale</b>	“ 141
<i>G. Martirano, V. Gagliardi, R. Coscarelli</i>	
<b>Riferimenti autori</b>	“ 163



La siccità e la desertificazione sono tra le emergenze ambientali più gravi che l'umanità dovrà affrontare nei prossimi anni. La situazione è particolarmente drammatica in Africa così come in molte zone dell'Asia e dell'America Latina, ma anche molti paesi sviluppati del Nord e del Mediterraneo come l'Italia presentano una crisi ambientale caratterizzata da:

- evidenti variazioni climatiche con prolungati periodi di siccità
- presenza di suoli con marcata tendenza all'erosione
- alta frequenza di incendi boschivi con distruzione delle risorse forestali
- sfruttamento intensivo dei terreni e delle risorse idriche
- massiccia concentrazione delle attività economiche lungo le fasce costiere
- forti aggregazioni di aree urbane e turismo intensivo
- uso non sostenibile, in generale, delle risorse naturali da parte dell'uomo.

Nel nostro territorio nazionale le regioni a maggior rischio di desertificazione sono quelle del sud ed in particolare Basilicata, Calabria, Puglia, Sardegna e Sicilia.

A livello globale, l'Italia, insieme ad altri 179 Paesi, ha ratificato nel 1997 la Convenzione ONU sulla lotta alla siccità e desertificazione; strumento internazionale che impegna i paesi firmatari a cooperare per ridurre le perdite di produttività dei suoli causate da cambiamenti climatici e attività antropiche. L'attuazione della convenzione prevede la predisposizione di un Piano di Azione Nazionale (PAN) che il CIPE ha adottato nel 1999, mettendo in evidenza come il problema sia sentito sul territorio italiano e abbia come causa le attività antropiche in associazione con eventi climatici estremi sempre più frequenti. Il PAN individua i settori di intervento considerati prioritari, stabilendo che le Regioni e le Autorità di Bacino indichino le aree vulnerabili individuate e le proposte di misure e interventi ritenuti prioritari.

L'apporto concreto al PAN dal parte del MUR, particolarmente sensibile alle tematiche ambientali, avviene attraverso:

- il coordinamento a livello nazionale e internazionale delle attività di ricerca a carattere ambientale
- la messa a disposizione di risorse per l'attivazione di ricerche sulle problematiche inerenti la desertificazione (come quelle, ad esempio, del Programma Operativo Nazionale "Ricerca, Sviluppo Tecnologico, Alta Formazione" 2000-2006 per il tema "Le nuove tecnologie per il rilevamento, per l'analisi ed il monitoraggio di parametri ambientali"), che ha avuto come risultati tra gli altri "l'identificazione dei sistemi di rilevamento delle grandezze di interesse climatologico, anche ai fini della determinazione e dell'analisi delle cause e degli effetti dei processi di desertificazione e/o modificazione dell'ambiente mediterraneo".

Relativamente a quanto il MUR, con il bando 1105 del 09/10/2002 "Contributi straordinari di ricerca e/o formazione agli Istituti e/o Enti culturali di Ricerca o formazione pubblici o privati ubicati nelle aree obiettivo 1 per lo svolgimento di progetti ricerca e/o formazione" con 146 mila Euro ha finanziato, tra l'altro, il progetto "ISPARIDE - Identificazione e Stima dei Parametri per la valutazione del Rischio di Desertificazione" realizzato dal CNR- Istituto di Ricerca

per la Protezione Idrogeologica – sede di Cosenza, contribuendo a sviluppare le attività di ricerca e formare ricercatori nel campo ambientale proprio in una delle regioni a più alto rischio ambientale.

L'obiettivo generale del presente progetto è quello di individuare i parametri necessari alla valutazione del grado di esposizione al rischio di desertificazione per il territorio calabrese.

La metodologia individuata potrà essere utilizzata per lo studio di altre aree del territorio italiano, esposte allo stesso rischio. Inoltre, i risultati ottenuti potranno contribuire a fornire elementi utili all'elaborazione delle politiche regionali inerenti la lotta alla desertificazione.

**Luciano Criscuoli**  
*Direttore Generale per il Coordinamento  
e lo Sviluppo della Ricerca  
Ministero dell'Università e della Ricerca*

I fenomeni di degrado del suolo sono da tempo oggetto di studio di alcuni tra i più prestigiosi Istituti del CNR. Questi istituti fanno parte del Dipartimento Terra e Ambiente, nei cui programmi questa tematica è sviluppata con un approccio interdisciplinare, ponendo in evidenza sia le cause che sono all'origine dei processi di desertificazione, sia gli effetti ambientali ed economici.

In questo volume vengono presentati i risultati scientifici ottenuti con il Progetto "ISPARIDE", un pregiato esempio di quanto viene realizzato nel più vasto Progetto dipartimentale "Rischi naturali ed antropici del territorio".

La collaborazione tra il CNR-IRPI (Istituto di Ricerca per la Protezione Idrogeologica) e il CNR-ISE (Istituto per lo Studio degli Ecosistemi), attuata tramite la realizzazione del progetto "ISPARIDE", è in linea con quanto avviene a livello nazionale ed internazionale da tempo, ossia la convergenza di gruppi di lavoro con esperienza scientifica diversa, su obiettivi che necessitano l'integrazione di molteplici competenze disciplinari che riguardano lo studio di un sistema estremamente complesso, come è l'ambiente terrestre.

L'attenzione del Dipartimento Terra e Ambiente alle tematiche riguardanti l'evoluzione del territorio quale risultato di una serie di agenti modificatori è pure testimoniata dalla recentissima pubblicazione del volume "Clima e Cambiamenti Climatici: le attività di ricerca del CNR", in cui sono presentati anche alcuni dei risultati ottenuti con il progetto "ISPARIDE". Il CNR afferma con questi prodotti il valore della ricerca scientifica a sostegno delle decisioni che dovranno essere assunte a livello istituzionale per la realizzazione di necessarie azioni di mitigazione e adattamento all'evoluzione ambientale.

L'auspicio è quindi che lo studio dei processi di desertificazione nella regione mediterranea possa trovare continuità tra le priorità di sostegno alla comunità scientifica, nonché una adeguata attenzione da parte degli Enti cui è preposta la gestione del territorio. Ciò al fine di realizzare il massimo beneficio dall'impegno profuso nella produzione di conoscenza dei processi ambientali che governano le modificazioni di origine naturale e antropica.

Un fitto dialogo tra scienza e politica è l'unica via per realizzare una efficace azione di salvaguardia del territorio e di contributo allo sviluppo economico, al benessere sociale e alla sicurezza dei cittadini.

**Giuseppe Cavarretta**

*Direttore del Dipartimento Terra e Ambiente*

*Consiglio Nazionale delle Ricerche*



Il problema della desertificazione sta assumendo sempre maggiore importanza, anche per la continua sensibilizzazione da parte di quegli organismi internazionali che analizzano le conseguenze dei cosiddetti "cambiamenti climatici". Fra gli ambiti di studio in corso presso l'Istituto di Ricerca per la Protezione Idrogeologica, sempre attento a tutte le problematiche inerenti la difesa del suolo, non poteva non essere compreso il fenomeno della desertificazione, che, quindi, può ben considerarsi fra le attività e le ricerche per così dire "istituzionali" condotte nell'ambito delle diverse sedi.

In particolare, se altre unità dell'IRPI già da tempo analizzano i fenomeni legati alla componente "suolo", il progetto "ISPARIDE - Identificazione e Stima dei Parametri per la Valutazione del Rischio di Desertificazione", di cui il presente volume raccoglie i risultati, rappresenta il primo importante ed organico studio su detta problematica per la sede di Cosenza. L'importanza di ciò, inoltre, sta anche nel fatto che, con detto progetto, il fenomeno della desertificazione viene affrontato dall'IRPI con riferimento ad un territorio che, per le sue caratteristiche climatiche, geomorfologiche ed antropiche, risulta notoriamente fra quelli più esposti a detto rischio nell'ambito del bacino del Mediterraneo.

Si sottolinea inoltre l'interdisciplinarietà del progetto "ISPARIDE", che rappresenta una caratteristica importante della ricerca, specie in quegli ambiti vasti e complessi come la desertificazione. La sinergia, inoltre, fra i ricercatori dell'IRPI e gli studiosi di altri Istituti e dell'Università, nonché il contributo fornito da tecnici di alta professionalità provenienti dal mondo delle Piccole e Medie Imprese, fanno di questo progetto un esempio di ricerca moderno ed avanzato, all'insegna di una efficace collaborazione fra ambiti che, fino a qualche tempo fa, difficilmente riuscivano ad interagire.

I risultati cui si è pervenuti, sicuramente di alto contenuto scientifico, fanno inoltre ben sperare sulla possibilità di un approfondimento e di una continuità, all'interno di nuovi progetti nazionali e comunitari.

**Lucio Ubertini**

*Direttore dell'Istituto di Ricerca  
per la Protezione Idrogeologica  
Consiglio Nazionale delle Ricerche*



## INTRODUZIONE

Il presente volume raccoglie alcuni dei risultati scientifici raggiunti nell'ambito del Progetto di Ricerca "I.S.PA.RI.DE. – Identificazione e Stima dei Parametri per la valutazione del Rischio di Desertificazione", cofinanziato dal Ministero dell'Università e della Ricerca con il "Contributo straordinario agli Istituti e/o enti culturali di ricerca e/o formazione pubblici e privati, con sede operativa nelle aree ricomprese nell'Obiettivo 1" (Decreto Direttoriale 9 ottobre 2002, N. 1105 - G.U.R.I. 13 dicembre 2002, n. 292).

Il progetto è stato coordinato e svolto presso il Consiglio Nazionale delle Ricerche – Istituto di Ricerca per la Protezione Idrogeologica – sede di Cosenza, con la collaborazione, come si può notare dalla provenienza degli Autori delle memorie, di Ricercatori e Tecnici dell'Istituto per lo Studio degli Ecosistemi (CNR-ISE), del Politecnico di Milano e di una Piccola e Media Impresa, la EPSILON Italia, esperta nella gestione e interpretazione di dati satellitari.

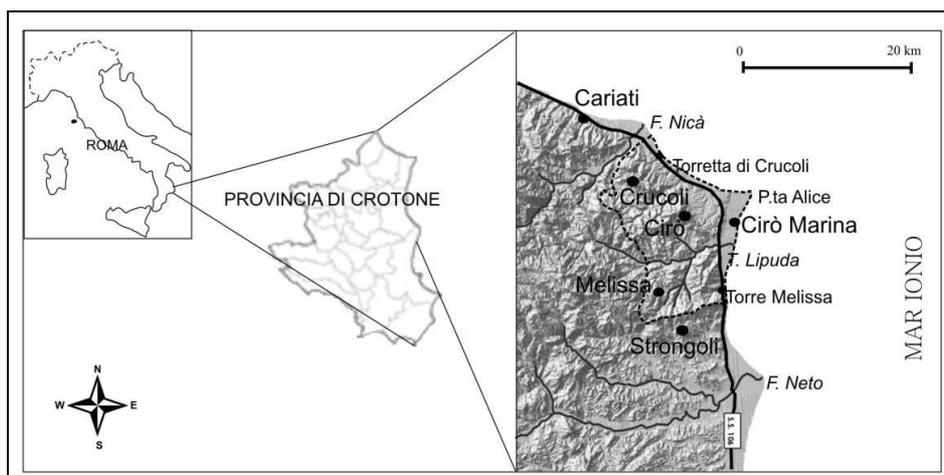
La tematica, oggetto del Progetto, è sicuramente di grande attualità e sta assumendo negli ultimi anni sempre maggiore importanza anche in relazione al problema dei cambiamenti climatici, a cui il fenomeno della desertificazione è anche connesso. Ma oltre a cause prettamente naturali, detto fenomeno è anche legato a politiche di gestione dell'ambiente, in generale, e del suolo, in particolare, che spesso determinano situazioni di degrado, anche irreversibili.

Il progetto "I.S.PA.RI.DE.", fra gli obiettivi primari, ha inteso individuare e caratterizzare in modo organico, nell'ambito del Work Package 1, gli indicatori necessari per analizzare il fenomeno complesso della desertificazione. Detta attività è stata effettuata sulla base di fonti bibliografiche diverse, avendo, come riferimenti, raccolte svolte nell'ambito di altri progetti sulla stessa tematica. Come ogni raccolta, anche quella che qui si propone non può ritenersi esaustiva e definitiva, ma "aperta" ed aggiornabile. Nel CD allegato sono riportate le schede analitiche descrittive degli indicatori individuati.

Gli indicatori possono assolvere il compito di dare un contributo alla descrizione di un fenomeno complesso, come quello della desertificazione, se opportunamente accorpati ed aggregati. Da qui la necessità di riproporre la metodologia ESAs (Environmentally Sensitive Areas), introdotta con il progetto europeo MEDALUS, anche in una formulazione che tiene conto solo degli aspetti fisico-ambientali, e di presentare una metodologia che, prendendo come base gli indicatori utilizzati nella metodologia ESAs, faccia uso dell'analisi fattoriale.

La trattazione del problema desertificazione può, però, ritenersi completa solo se si analizza il fenomeno in un determinato territorio. Da questo punto di vista, non poteva non scegliersi un territorio di quella regione, la Calabria, che, per le sue caratteristiche climatiche, geo-morfologiche, antropiche, è una delle regioni più esposte al rischio di desertificazione fra quelle che si affacciano sul bacino del Mediterraneo. Si è ritenuto conveniente applicare le metodologie,

prima citate, alla scala di bacino e concentrarsi sul versante ionico, che anche per le caratteristiche pluviometriche e climatiche, appare quello più esposto al fenomeno. La scelta dell'area è stata, inoltre, condizionata dalla disponibilità di dati e informazioni, che un fenomeno vasto e complesso, come quello della desertificazione, richiede. Ha poco senso, infatti, proporre metodologie e modelli sofisticati, sempre più esatti ed aderenti alla realtà, se poi si è costretti ad approssimazioni e ad incertezze sui dati di ingresso. Grazie ad una estesa campagna effettuata dal Servizio Agropedologia dell'Agenzia Regionale per lo Sviluppo ed i Servizi in Agricoltura della Calabria (A.R.S.S.A. Calabria), sul comprensorio viti-vinicolo del "Cirò DOC", in provincia di Crotone, i cui dati sono stati gentilmente messi a disposizione per lo studio di che trattasi, è stato, infatti, possibile effettuare le applicazioni e l'analisi del fenomeno della desertificazione in detta area. Ovviamente, ai dati dell'A.R.S.S.A. sono stati affiancati ulteriori dati, forniti da altri Enti (Provincia di Crotone, Corpo Forestale dello Stato, ecc.), nonché dati e informazioni già in possesso degli Istituti, che hanno lavorato nel progetto, o dagli stessi acquisiti.



Per una più esaustiva descrizione del fenomeno si sono valutati anche i trend climatici nella zona in cui ricade l'area di studio e le dinamiche di uso del suolo avvenute nella seconda metà del XX secolo. Entrambe le problematiche possono, infatti, assumere un ruolo importante nell'avanzamento della desertificazione.

A completamento di quanto previsto nel WP 2 "Sviluppo e validazione della metodologia", l'attenzione si è quindi concentrata sulla validazione dei risultati, tramite una campagna di indagini di laboratorio su campioni di suolo, effettuata presso il laboratorio del CNR-ISE di Pisa, e su valutazioni dello stesso fenomeno, utilizzando indicatori rilevabili tramite informazioni da satellite. Quest'ultima attività, come previsto in progetto, è stata effettuata grazie ad una pro-

ficua collaborazione con la EPSILON Italia, una PMI che ha sede a Cosenza e può vantare una ricca esperienza nel settore dell'interpretazione dei dati da satellite, acquisita con la partecipazione a progetti nazionali e comunitari, in partnership con Enti di Ricerca e con le Università.

Il presente volume, come detto agli inizi, riporta i risultati più salienti delle diverse attività poste in essere nell'ambito del progetto e risponde a quell'esigenza di "diffusione e trasferimento dei risultati" che nel progetto rappresentava l'obiettivo del terzo ed ultimo Work Package. Ma accanto a ciò, la partecipazione a Convegni e Conferenze, con la presentazione di alcuni dei risultati raggiunti, aveva già in parte permesso detta divulgazione. La pubblicazione, inoltre, di articoli su riviste scientifiche, già in parte avvenuta e che sarà portata avanti anche dopo il termine delle attività progettuali, potrà permettere una diffusione dei risultati più completa nel mondo scientifico che studia il fenomeno della desertificazione.

Nonostante le molteplici attività e la varietà di studi effettuati, il progetto "I.S.PA.RI.DE." deve, comunque, considerarsi un punto di partenza. Le diverse tematiche trattate, rientranti nel fenomeno complesso della desertificazione, o comunque a questo collegate, meritano tutte approfondimenti e affinamenti, non per mettere in discussione i risultati a cui si è prevenuti, ma per raggiungere quel grado di conoscenza esaustivo, che il fenomeno merita, anche considerando le vaste conseguenze che lo stesso ha da un punto di vista produttivo ed economico, oltre che ambientale e naturale. Detti effetti risultano, inoltre, di estrema importanza per territori già alquanto "fragili" come quello calabrese.

Dopo la conoscenza del fenomeno e la stima dello stesso nelle aree più esposte, la ricerca, ora, dovrà concentrarsi sullo studio della mitigazione e anche dell'adattamento allo stesso. Questa è la grande sfida per la quale i ricercatori devono lavorare e studiare, per proporre ai pianificatori del territorio metodologie, misure e azioni appropriate per fare in modo che le magnifiche terre del Sud non divengano territori aridi e brulli.

In qualità di Responsabile Scientifico, lo scrivente non può che porgere un sincero ringraziamento a chi ha reso possibile la buona riuscita del progetto: in primis, al Ministero dell'Università e della Ricerca, che, avendo finanziato per il 75% il progetto, ha permesso appunto l'attuazione dello stesso, dando così anche la possibilità a giovani aspiranti ricercatori di approfondire la tematica della desertificazione. In particolare, sentiti ringraziamenti vanno a Loredana Iadluca dello stesso Ministero, al tutor di nomina ministeriale, Luigi Di Dato, e alla sua collaboratrice, Alessandra Accattatis. Un sentito ringraziamento ai colleghi che hanno prestato la loro valente opera al progetto, e quindi anche al presente volume. Vanno, inoltre, sicuramente citati quei dipendenti del CNR-IRPI, che, anche non comparando ufficialmente nelle memorie, con il loro operato hanno fornito un validissimo supporto tecnico e amministrativo nell'esecuzione e nella gestione del progetto: Emilio Catalano (prezioso il suo contributo nell'imple-

mentazione del GIS), Amelia Crispo, Annamaria Donato, Elea Vairo (puntuale e precisa nelle rendicontazioni amministrative del progetto). Un grazie anche a Maria Francesca De Pino, al momento non presente nell'organico del CNR-IRPI, che ha seguito la fase iniziale di attuazione di "I.S.PA.RI.DE."

Infine, un ringraziamento sincero a tutti quei dipendenti degli Enti, con i quali si è interloquito, che hanno fornito dati, utilissimi per l'effettuazione delle applicazioni nell'area di studio, ed, in modo particolare, agli amici e colleghi del Servizio Agropedologia dell'A.R.S.S.A. Calabria.

**Roberto Coscarelli**  
*Responsabile Scientifico  
del Progetto "I.S.PA.RI.DE."*

# IL FENOMENO DELLA DESERTIFICAZIONE E GLI INDICATORI PER LA SUA VALUTAZIONE

## *Desertification phenomena and indicators for their assessment*

R. Coscarelli<sup>1</sup>, I. Minervino<sup>1</sup>, M. Sorriso-Valvo<sup>1</sup>

---

### Sommario

---

La desertificazione, fenomeno complesso in base al quale un suolo perde progressivamente la propria capacità produttiva e funzionale, rappresentando perciò una seria minaccia per l'ambiente e per il benessere socio-economico dell'umanità, sta diventando uno dei problemi ambientali più conosciuti e importanti.

In questa memoria ne vengono identificate le cause, di diversa origine, naturale e antropica, e trattati i fattori che concorrono a determinare la predisposizione di un terreno al degrado attraverso i cosiddetti "indicatori di desertificazione". Questi sono stati raccolti, descritti schematicamente tramite due tipi di scheda e classificati secondo un sistema "aperto", tale da rendere la raccolta sempre aggiornabile.

---

### Summary

---

Desertification, a complex phenomenon through which a soil progressively loses its productive and functional capacity, is becoming a very important and well-known environmental problem, because it represents a serious threat to the environment and to human socio-economic welfare.

In this paper the causes, both natural and anthropic, of desertification are presented as well as the factors which determine the predisposition of a soil to degradation phenomena by means of "desertification indicators". These are collected, described using two different forms and classified through an "open" system that permits to have a database that can be always updated.

### 1. Il fenomeno desertificazione

Con il termine *desertificazione*, contrariamente a quanto sembrerebbe alludere o potrebbe far intendere la radice del vocabolo, non si indica l'avanzamento del deserto, – nel qual caso si dovrebbe piuttosto parlare di *desertizzazione* –, bensì si vuol definire un insieme di processi di degradazione di un terreno, legati a molteplici cause, che investe ambienti non di esclusiva pertinenza delle zone già desertiche: aree vulnerabili non solo alla siccità ma anche all'erosione ed agli

---

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

squilibri nella gestione del territorio e delle risorse idriche. La desertificazione, infatti, nel corso del tempo, è andata via via perdendo lo *status* di problematica legata esclusivamente a cause ambientali (Spooner and Mann, 1982), per riaffermare, invece, la sua dimensione di fenomeno complesso in cui determinanti risultano anche i fattori antropici (Quaranta e Salvia, 2006).

Le numerose aree soggette a desertificazione sono accomunate dalla progressiva riduzione dello strato superficiale del suolo e della sua capacità produttiva e funzionale. Se questi fenomeni rappresentano una seria minaccia per l'ambiente, i loro effetti, per le implicazioni di tipo sociale, economico ed istituzionale, lo sono per il benessere dell'umanità (Mainguet, 1994; Williams e Balling, 1996; Reynolds e Stafford Smith, 2002).

### **1.1 Evoluzione del termine desertificazione**

Nel corso del tempo si sono succedute diverse definizioni di desertificazione.

La paternità del termine, risalente al lontano 1927, si attribuisce all'ecologista ed esploratore francese Louis Lavauden. Fu, tuttavia, il suo connazionale Aubreville (1949) a renderlo popolare utilizzando tale espressione per descrivere il degrado territoriale delle regioni nord-occidentali dell'Africa. Secondo Aubreville, la desertificazione consiste nella "trasformazione di un terreno produttivo in deserto, quale risultato di una distruzione del terreno causata dall'erosione del suolo di origine antropica". L'Autore non riconosceva altra causa per i fenomeni erosivi individuati nell'Africa tropicale se non quella antropica, non essendoci stato, a suo dire, alcun significativo cambiamento climatico nei precedenti mille e più anni.

In un rapporto del 1977 del programma UNEP (United Nations Environmental Program), nel considerare il fenomeno desertificazione, si parla di "un aspetto della degradazione degli ecosistemi in seguito alla diminuzione consistente del loro potenziale biologico" (UNEP, 1977).

Dregne (1983), nella definizione da lui fornita, fa per primo cenno ai cosiddetti indicatori di desertificazione: "L'impoverimento degli ecosistemi terrestri a seguito dell'impatto dell'uomo, che può essere misurato dalla riduzione della produttività delle specie vegetali di interesse, dalla diminuzione nella biomassa e dalla diminuzione della diversità della micro e macro-fauna e della flora, da una accelerata degradazione del suolo e dall'aumento dei rischi dovuti alla presenza dell'uomo".

Una definizione abbastanza vicina a quella attualmente accettata di desertificazione è fornita in uno studio del 1984: "Espressione onnicomprensiva che indica processi economico-sociali, naturali ed antropici che alterano l'equilibrio suolo, vegetazione, aria ed acqua in aree caratterizzate da aridità indotta da fattori edafici e climatici" (FAO/UNEP, 1984).

Solo a partire dall'ultima decade del secolo scorso si è ritenuto opportuno estendere la definizione di desertificazione, tradizionalmente attribuita alle aree propriamente aride, anche a quelle caratterizzate da clima sub-umido secco, che si pensava fino ad allora esenti da tali problematiche: "Degrado delle terre in

aree aride e sub umide/secche, derivante principalmente da impatti antropici sfavorevoli [...] Il termine terre in questo contesto comprende suolo e risorse idriche locali, superficie del terreno e vegetazione naturale" (UNEP, 1991).

L'evoluzione del termine trova il suo culmine nel 1994, a Parigi, in occasione dell'adozione della Convenzione delle Nazioni Unite per la Lotta alla Siccità e alla Desertificazione (UNCCD). L'articolo 1 del testo della Convenzione fornisce la definizione ormai universalmente accettata del fenomeno come "il degrado delle terre aride, semi-aride e sub-umide secche attribuibile a varie cause, fra le quali le variazioni climatiche e le attività umane" (UNCCD, 1994).

Sempre la UNCCD riporta che la desertificazione si manifesta con "la diminuzione o la scomparsa della produttività e complessità biologica o economica delle terre coltivate, sia irrigate che non, delle praterie, dei pascoli, delle foreste o delle superfici boschive causate dai sistemi di utilizzo della terra, o da uno o più processi, compresi quelli derivanti dall'attività dell'uomo e dalle sue modalità di insediamento, tra i quali l'erosione idrica, eolica, ecc; il deterioramento delle proprietà fisiche, chimiche e biologiche o economiche dei suoli; la perdita protratta nel tempo di vegetazione naturale".

## *1.2 Dimensioni del fenomeno*

La desertificazione è un fenomeno di proporzioni planetarie: un quarto delle terre del Pianeta è, infatti, minacciato dalla desertificazione e dei 5,2 miliardi di ettari di terre emerse che vengono coltivate il 69% va verso una situazione di degrado o è già soggetto a desertificazione (UNEP, 1992). Le esistenze di più di un miliardo di persone, in oltre 100 nazioni, sono a rischio desertificazione come conseguenza della diminuzione di produttività dei suoli (CNLD, 1999).

Sempre secondo UNEP (1992), ogni cinque anni vanno perduti 24 miliardi di tonnellate di suolo fertile in tutti i continenti e il costo del fenomeno di desertificazione mondiale ammonta ogni anno ad oltre 42 miliardi di dollari, con la seguente distribuzione: l'Africa perde circa 9 miliardi di dollari all'anno, l'Asia 21, il Nord America 5, l'Australia ed il Sud America 3 ciascuna e l'Europa 1.

Gli ambienti maggiormente vulnerabili alla desertificazione sono rappresentati dalle terre aride, che occupano il 41% delle terre emerse (MA, 2005) e ospitano circa due miliardi di persone. In queste zone, la persistente e sostanziale riduzione della funzionalità ecosistemica (legata alla scarsità d'acqua e/o alla sua azione erosiva, all'intensivo uso del suolo e delle risorse idriche sotterranee, ai cambiamenti climatici), rappresenta una minaccia maggiore che non nei sistemi non aridi.

## *1.3 Le cause della desertificazione*

La desertificazione si instaura per cause, di tipo naturale e/o antropico, agenti su territori interessati già dalla presenza di fattori predisponenti al degrado stesso, quali: ecosistemi fragili, caratteri geolitologici sfavorevoli, criticità di tipo idrologico e idrogeologico, caratteristiche pedologiche sfavorevoli, morfo-

logia predisponente, coperture vegetali insufficienti o depauperate, aree già compromesse per varie cause.

Inoltre è da sottolineare che gli effetti del degrado territoriale, il più delle volte, diventano causa di incremento di situazioni di desertificazione, innescando quindi un processo di involuzione che può giungere a situazioni anche di tipo irreversibile.

Tra le *cause naturali*, sia predisponenti sia innescanti, quelle principali sono senza dubbio ascrivibili al clima, dato che questo regola le condizioni di vita della vegetazione ed, indirettamente, influisce sulla desertificazione attraverso altri fenomeni da esso causati o incrementati. Nello specifico, si considerano come cause agenti quei fenomeni legati alle caratteristiche delle precipitazioni, in particolare la frequenza di eventi siccitosi, l'incremento dell'erosività della pioggia stessa, le variazioni di temperatura, governati da mutamenti climatici a livello globale o locale. Un altro importante fattore climatico è il vento che, condizionando fenomeni quali la siccità, l'evaporazione e il trasporto di sedimenti, può indurre condizioni di degrado e di erosione dei suoli. Inoltre in prossimità delle coste possono facilmente accumularsi sali che arrivano con le gocce d'acqua, trasportate dai venti che soffiano dal mare (van der Molen, 1984; Hingston e Gailitus, 1976).

Per quanto concerne il suolo, la riduzione di biomassa, in generale, oltre a rendere un suolo particolarmente esposto agli agenti erosivi (acqua e vento), è fattore di incremento di aridità del clima, dal momento che induce una diminuzione di sequestro del carbonio (uno dei meccanismi più efficaci di regolazione dell'"effetto serra") e un aumento dell'albedo della superficie terrestre (MA, 2005).

Il substrato rappresenta sicuramente una caratteristica fortemente condizionante la produttività e la profondità di un suolo e, quindi, la capacità di sostenere diversi tipi di copertura vegetale. Ad esempio, i suoli derivati da rocce calcaree sono generalmente poco profondi, ad alta erodibilità e con un lento ripristino della vegetazione. Diverse aree su formazioni calcaree della regione mediterranea hanno già subito un processo di desertificazione, con la superficie del suolo erosa e la copertura della vegetazione completamente rimossa (Kosmas et al., 1999). Caratteristiche simili presentano i suoli formati su rocce effusive acide, con spessore molto ridotto, elevata erodibilità e conseguente elevata suscettibilità alla desertificazione. Al contrario, i suoli formati sui conglomerati e rocce effusive basiche, nonostante la loro bassa produttività anche negli anni più piovosi, possono mantenere un buono stato idrico pure durante gli anni siccitosi, e, conseguentemente, una buona copertura vegetale del terreno e una elevata produzione di biomassa (SAR, 2004). I suoli formati su marne, nonostante la loro considerevole profondità e l'alta produttività nelle annate normali o piovose, sono molto suscettibili alla desertificazione in quanto, a causa delle scarse proprietà fisiche, non riescono ad immagazzinare acqua per i periodi siccitosi.

Per quanto concerne le *cause antropiche*, tra le attività produttive, quella che più di ogni altra può favorire, accelerandolo o avviandolo, il processo di desertificazione, è sicuramente da annoverare l'agricoltura. Infatti, il degrado del

suolo è legato soprattutto all'uso frequentemente erroneo dei mezzi di produzione (fertilizzanti, acqua, ecc.), alle pratiche non corrette di lavorazione del terreno e alle modifiche degli ordinamenti produttivi. L'agricoltura di tipo intensivo e la specializzazione delle colture sono tendenze in atto già dalla seconda metà dello scorso secolo e hanno condotto a seri fenomeni di degradazione del suolo. Dal secondo dopoguerra, soprattutto a partire dagli anni '60, si è dato avvio alla cosiddetta "rivoluzione verde", che ha promosso soprattutto nei paesi in via di sviluppo, ma anche in quelli industrializzati, programmi di graduale conversione dei modelli agricoli tradizionali locali, considerati poveri, inefficienti e insufficienti a soddisfare la domanda alimentare, in sistemi maggiormente produttivi, in cui rese e risultato economico nel breve periodo rappresentava l'assoluta priorità (Quaranta e Salvia, 2006). L'intensivizzazione delle pratiche agricole ha riguardato principalmente le lavorazioni del suolo, l'ordinamento produttivo dei campi e il ricorso all'irrigazione artificiale.

Nel campo della zootecnia, la variazione, avvenuta anch'essa a partire dalle ultime decadi del secolo scorso, da attività diffusa a carattere agricolo ad attività di tipo industriale, separata dai cicli naturali, ha comportato il sovrasfruttamento e il deterioramento di vasti territori. L'*overgrazing* (pascolamento eccessivo), conseguenza di un tipo di allevamento intensivo, è considerato infatti il principale fattore di riduzione della copertura vegetale e dell'erosione del suolo.

Anche il disboscamento gioca un ruolo sicuramente non secondario: oggi si calcola che circa un terzo delle foreste originarie del Pianeta è scomparso e che circa i 2/3 di quello che è rimasto sono stati profondamente alterati. La deforestazione, che fino a 40 anni fa era un problema principalmente dei paesi industrializzati, oggi si concentra maggiormente nei paesi in via di sviluppo: nei soli anni '80 sono scomparsi circa 15 milioni di ettari di foreste l'anno, di cui 7,4 tra America Latina e Caraibi, 4,1 nell'Africa Sub-Sahariana, 3,3 nell'Asia del Sud-Est, 0,6 nell'Asia del Sud. È da sottolineare che anche le pratiche intese a combattere l'erosione calanchiva in aree collinari con i rimboschimenti ad eucalyptus si dimostrano efficaci solo nel breve termine di 10-15 anni. In seguito, l'erosione infatti riprende con maggiore veemenza (Sorriso-Valvo et al., 1995).

Anche il processo di deforestazione causato dai sempre più frequenti incendi boschivi provoca una forte riduzione della capacità di ritenzione dell'acqua da parte del suolo e il conseguente depauperamento dei corpi idrici sotterranei.

L'espansione urbana, la realizzazione di discariche e di attività estrattive, spesso incontrollate, determinando una sottrazione di risorsa, incidono profondamente sul fenomeno della desertificazione, anche in termini di degrado ambientale legato ai processi di contaminazione che dette attività provocano.

Un'ulteriore causa di desertificazione, che ha origine dalle attività antropiche non sostenibili, è la salinizzazione delle acque sotterranee e dei suoli, che, negli ambienti mediterranei, è causata dalla progressiva intrusione dell'acqua di mare all'interno delle falde idriche prossime alle zone costiere, dipendente da un'utilizzazione eccessiva delle risorse idriche sotterranee a scopo irriguo (Monteleone, 2006).

## 2. Indicatori ambientali

Nel corso dell'ultimo cinquantennio del secolo scorso, nell'ambito dei vari studi e convegni svoltisi a livello internazionale per dibattere di desertificazione, si è passati dalla necessità di inquadrare l'estensione del problema, a quella di identificarne le cause e i fattori che concorrono a determinare la predisposizione di un terreno al degrado, alla necessità di quantificarne gli impatti e giustificare i costi d'intervento per la loro mitigazione. In detta direzione, il dibattito a livello internazionale, particolarmente produttivo tra gli anni '70 e '80, si è concentrato sulla necessità di identificare degli adeguati parametri in grado di evidenziare l'incidenza dei singoli fattori sul fenomeno nel suo complesso, i cosiddetti "indicatori di desertificazione".

Gli indicatori sono strumenti sempre più utilizzati nei rapporti ambientali a carattere internazionale e nazionale. Un indicatore ambientale può essere definito come un parametro (variabile numerica o categorica) che fornisce, sulla base dei valori assunti, informazioni sullo stato dell'ambiente o sulla sua evoluzione, sulle attività antropiche che impattano l'ambiente o che subiscono i cambiamenti di quest'ultimo, o sulle relazioni esistenti tra le variabili stesse.

Per perseguire detto obiettivo, gli indicatori devono rispettare alcuni requisiti, cioè devono essere (EEA, 1998):

- basati su solide acquisizioni scientifiche;
- in numero limitato;
- preferibilmente quantitativi;
- semplici;
- applicabili su vaste aree e diversi contesti socio-economici;
- relativamente indipendenti dalle dimensioni;
- a basso costo e facili da misurare, raccogliere, analizzare e/o calcolare;
- altamente rappresentativi di uno stato, di un fenomeno o di un'evoluzione.

Le metodologie elaborate negli ultimi anni per la valutazione della sensibilità ambientale alla desertificazione adottano un approccio multidisciplinare. Esse si basano sull'analisi di set di indicatori, comprendenti gli aspetti ambientali, sociali ed economici, mutuamente interagenti fra di loro.

In tutti gli studi di carattere ambientale, in cui si vogliono analizzare le varie componenti di qualsivoglia sistema in esame, è adottato a livello internazionale il modello DPSIR. Esso consiste in uno schema classificatorio, introdotto nel 1995 dall'Agenzia Europea per l'Ambiente (EEA), che mostra la concatenazione esistente, in un rapporto ciclico di cause-effetti, tra le forze determinanti, le pressioni, i cambiamenti nello stato dell'ambiente, gli impatti e le azioni di risposta.

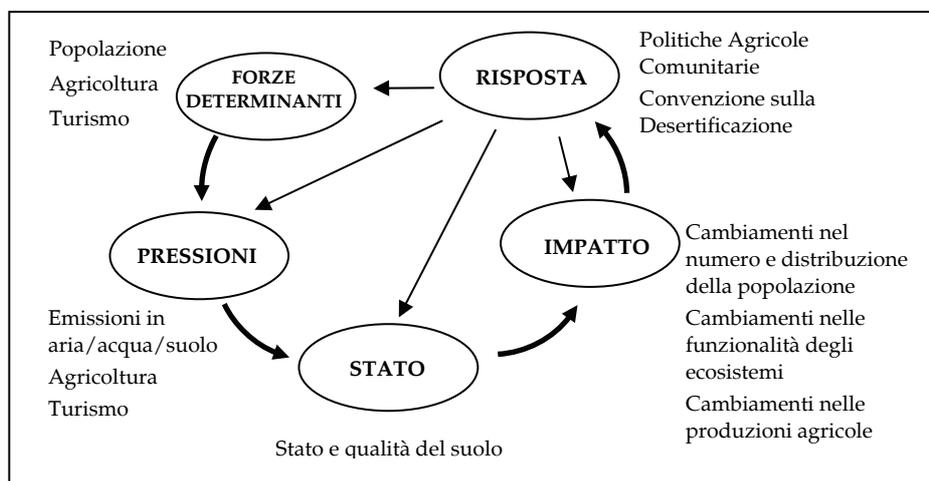
Il DPSIR deriva dall'ampliamento del modello denominato PSR (Pressure – State – Response), utilizzato per la prima volta dal Ministero dell'Ambiente del Canada e successivamente adottato dall'Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD) che ne ha sviluppato il set di indicatori da usare nei rapporti sullo stato dell'ambiente.

Volendo riassumere in poche righe, secondo il modello DPSIR, gli sviluppi di natura economica e sociale sono i fattori di fondo (D) che esercitano pressioni (P) sull'ambiente, le cui condizioni (S), tipo la disponibilità di risorse, il livello di biodiversità o la qualità dell'aria, cambiano di conseguenza. Questo ha degli impatti (I) sulla salute umana, sugli ecosistemi e sui materiali, per cui vengono richieste risposte da parte della società. Le azioni di risposta (R) possono riguardare qualsiasi elemento del sistema, ovvero avere effetto direttamente sullo stato dell'ambiente o agire sugli impatti o sulle determinanti, indirizzando le attività umane su nuove strategie.

Nell'ambito della tematica desertificazione/erosione del suolo, il modello DPSIR inquadra i vari indicatori secondo un rapporto di relazione di causa-effetto e di *feed back* (risposta o retro-azione) come espresso in Figura 1 (Gentile, 1999).

La citazione del modello DPSIR nell'ambito della trattazione sugli indicatori di desertificazione è sembrata d'obbligo in quanto è, come detto, un modello adottato a livello internazionale. Tuttavia, sulla base delle premesse e definizioni ufficiali dei componenti della sua struttura, non lo si può considerare esaustivo per la trattazione della desertificazione, in quanto, in sostanza, ne identifica le cause con le attività e i processi antropici, e riduce tutti gli altri elementi del sistema a mere conseguenze di ciò. Questo è in netto contrasto con la definizione stessa di desertificazione, in cui si fa esplicito riferimento alle diverse tipologie di cause del fenomeno (naturali e di origine antropica).

Alla luce di quanto sopra riportato è risultato sicuramente fondamentale, prima di affrontare ogni eventuale metodologia e applicazione nel campo della desertificazione, procedere ad una raccolta, sulla base di informazioni di lettera-



**Fig. 1** - Esempio di applicazione del modello DPSIR alla tematica desertificazione/erosione del suolo (da Gentile, 1999). Le frecce in grassetto indicano le relazioni di causa-effetto, le altre indicano le relazioni di *feed back* (risposta o retroazione)

tura, degli indicatori di desertificazione e ad una loro trattazione con schede sinottiche, fermo restando il fatto che, come in tutte le attività di raccolta dati e informazioni, il sistema debba ritenersi “aperto”, ossia aggiornabile sulla base dei contributi che nuove ricerche e applicazioni possono apportare a detto settore.

### **3. Catalogazione degli indicatori di desertificazione**

La raccolta ragionata di “indicatori di desertificazione” è stata effettuata ricercando tra le fonti bibliografiche del settore e soprattutto nell’ambito dei numerosi progetti di ricerca sviluppati negli ultimi anni sia a livello nazionale che internazionale. La classificazione degli indicatori è tale da rendere la raccolta sempre aggiornabile, contemplando l’inserimento di nuovi parametri in tempi successivi. Gli indicatori vengono descritti ed ordinati per mezzo di schede particolareggiate, complete di tutte le informazioni e i riferimenti necessari per un utilizzo delle stesse, come meglio descritto nel paragrafo successivo. Inoltre sono state prodotte tabelle di sintesi, molto semplificate e schematiche, con un numero limitato di campi, per una descrizione delle caratteristiche essenziali di ciascun indicatore.

#### **3.1 Schede descrittive**

Le schede descrittive particolareggiate sono state strutturate modificando, in parte, lo schema adottato (Enne e Zucca, 2000) dall’allora Agenzia Nazionale per la Protezione dell’Ambiente (ANPA), oggi Agenzia per la Protezione dell’Ambiente e per i Servizi Tecnici (APAT), e successivamente utilizzato nel programma DISforME (Desertification Indicators System for Mediterranean Europe), sviluppato nell’ambito del Progetto Europeo DESERTLINKS (cfr.: [www.kcl.ac.uk/projects/desertlinks](http://www.kcl.ac.uk/projects/desertlinks)), nato con lo scopo di fornire ad una vasta gamma di utenti (inclusi ricercatori, politici, stakeholders) utili strumenti per la conoscenza del fenomeno desertificazione.

La scheda elaborata nell’ambito del progetto ISPARIDE, cui è riferito il presente volume, illustrata in tabella 1, è composta da quattro sezioni, che comprendono alcuni campi descrittivi. Rispetto alla scheda elaborata dall’ANPA, in quella che qui si propone le informazioni sono state riorganizzate e snellite per evitare sovrapposizioni e ripetizioni; sono state, inoltre, aggiunte voci che mancavano e che è stato ritenuto necessario inserire perché reputate importanti per una più precisa descrizione dello stesso indicatore.

I parametri esaminati sono classificati in base a cinque categorie principali, due delle quali sono distinte in varie categorie secondarie (Tab. 2). Questa classificazione ripropone, a grandi linee, quella adottata nel progetto DISforME.

Sono stati raccolti complessivamente 116 indicatori, le cui schede sono riportate sotto forma di file *pdf* nel CD allegato al presente volume.

CARATTERISTICHE	
CODICE	Identificato da una o due lettere (rappresentanti le iniziali delle categorie di appartenenza) e da una cifra progressiva (rappresentante l'ordine di catalogazione). Tale codificazione consente una catalogazione molto particolareggiata e un agile inserimento di altri eventuali indicatori.
BREVE DEFINIZIONE	Breve definizione dell'indicatore
SCALA SPAZIALE	Livello spaziale di indagine a cui si può applicare l'indicatore considerato. Può essere diverso anche per uno stesso indicatore e dipende dal grado di dettaglio con cui si opera e/o dal livello di accuratezza con cui vengono raccolti i dati necessari alla sua determinazione. Le suddivisioni di scala adottate riprendono quelle proposte da Mitchell (1991): <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Stazione (S) – livello di dettaglio: dal campione al lotto catastale (1:5.000);</li> <li>▪ Locale (L) – livello di dettaglio: dal lotto catastale alla scala di bacino (1:50.000);</li> <li>▪ Sub-regionale (Sr) – livello di dettaglio: dalla scala di bacino a quella provinciale (1:200.000);</li> <li>▪ Regionale (R) – livello di dettaglio: dalla scala provinciale a quella regionale (1:1.000.000);</li> <li>▪ Area dell'Europa Mediterranea (M) – livello di dettaglio: scala nazionale o sovra-nazionale, superiore a 1:1.000.000.</li> </ul>
SCALA TEMPORALE	Livello temporale di indagine a cui si può applicare l'indicatore considerato. Si considerano le seguenti categorie temporali: <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ scala giornaliera o superiore (g);</li> <li>▪ scala mensile (m);</li> <li>▪ scala stagionale o inferiore all'anno (s);</li> <li>▪ scala annuale e/o pluriennale (a);</li> <li>▪ per gli indicatori che richiedono una sola misurazione, per i quali non ha senso definire una scala rappresentativa, si usa come simbolo un trattino (-).</li> </ul>
UNITÀ DI MISURA	Vengono riportate le unità di misura appropriate per il calcolo degli indicatori.
POSIZIONE NEL SISTEMA LOGICO DPSIR	Si indica a quale categoria del sistema logico DPSIR corrisponde l'indicatore considerato. Le categorie sono le seguenti: <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Forze Determinanti (Driving forces - D): si riferiscono ai fattori che provocano e alimentano i fenomeni in questione;</li> <li>▪ indicatori di Pressione (Pressures - P): descrivono le azioni antropiche sull'ambiente che si esprimono nelle attività di sfruttamento prodotte da tutti i settori dell'attività economica;</li> <li>▪ indicatori di Stato (States - S): descrivono lo stato dell'ambiente e quindi riflettono le variazioni sull'ambiente e sul suo equilibrio, a qualsiasi scala, provocate dalle pressioni di origine antropica;</li> <li>▪ indicatori di Impatto (Impacts - I): descrivono gli effetti indotti sull'uomo e sulle attività produttive;</li> <li>▪ indicatori di Risposta (Responses - R): sono riferiti alle azioni predisposte per mitigare gli impatti e migliorare la qualità e quantità delle risorse ambientali.</li> </ul> Uno stesso indicatore può trovare collocazione in più di una categoria del DPSIR

**Tab. 1** – *Struttura e contenuto delle schede descrittive degli indicatori di desertificazione elaborate nell'ambito del progetto ISPARIDE (continua)*

DESCRIZIONE E OBIETTIVI	
OBIETTIVI OPERATIVI	Descrizione particolareggiata dell'indicatore e degli scopi funzionali che mediante l'utilizzo dello stesso si vogliono prefiggere. In particolare, si vuol esprimere se l'indicatore in esame consente di studiare la desertificazione dal punto di vista: <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ della prevenzione (P);</li> <li>▪ del monitoraggio (Mo);</li> <li>▪ della mitigazione (Mi) del fenomeno.</li> </ul> Uno stesso indicatore può essere utilizzato per studiare vari aspetti del fenomeno desertificazione e per altri fenomeni (obiettivi secondari).
IMPORTANZA RISPETTO ALLA DESERTIFICAZIONE	Viene indicato in che modo il fenomeno studiato mediante l'indicatore considerato si colloca nell'ambito della desertificazione o nella lotta alla desertificazione.
VALUTAZIONE E STIMA	
METODI DI MISURA E VALUTAZIONE - DATI NECESSARI	Descrizione delle metodologie di elaborazione dell'indicatore. Vengono specificate le caratteristiche dei dati necessari al calcolo. Le categorie considerate sono le seguenti: <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ archivi e database (DB);</li> <li>▪ rilevamenti di campagna (F);</li> <li>▪ telerilevamento (RS), mediante riprese aeree o immagini satellitari.</li> </ul>
DISPONIBILITÀ DEI DATI	In relazione alla natura dei dati necessari al calcolo dell'indicatore, viene espressa la maggiore o minore facilità nella reperibilità degli stessi e quindi i costi stimati per la loro acquisizione.
VALORI DI RIFERIMENTO	Vengono riportati i valori di riferimento secondo la metodologia di calcolo utilizzata.
LIMITI DELL'INDICATORE	Vengono considerati i termini di applicabilità spaziale e temporale dell'indicatore considerato, nonché i limiti dovuti alla gestione dei dati in relazione alla loro natura.
BIBLIOGRAFIA (in riferimento al fenomeno desertificazione)	
RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI	Riferimenti a progetti, studi e lavori in cui si è descritto l'utilizzo e/o applicato l'indicatore considerato.

**Tab. 1** – Struttura e contenuto delle schede descrittive degli indicatori di desertificazione elaborata nell'ambito del progetto ISPARIDE (continuazione)

Categoria principale <b>Indicatori fisici ed ambientali</b>			
Categorie secondarie	Clima	Idraulica	Vegetazione
	Fuoco-incendi	Suolo	Risorse idriche
Categoria principale <b>Indicatori economici</b>			
Categorie secondarie	Economia Agraria	Gestione Agro-Forestale	Turismo
	Allevamento	Gestione del territorio	Uso delle risorse idriche
	Tecniche di coltivazione	Sviluppo socio-economico	
Categoria principale <b>Indicatori sociali</b>			
Categoria principale <b>Indicatori istituzionali</b>			
Categoria principale <b>Indicatori composti</b>			

**Tab. 2** – Classificazione adottata per gli indicatori di desertificazione

### 3.2 Tabelle di sintesi

Per una più sintetica descrizione del lavoro prodotto, le informazioni raccolte e riportate nelle schede sono state riassunte in tabelle di sintesi (Appendice), che ne illustrano, in maniera immediata, i principali elementi e caratteristiche. La necessità di creare un quadro di sintesi degli indicatori proposti deriva anche dal fatto che non tutti gli indicatori, così come sono riportati in letteratura, sono di facile gestione o descritti con la stessa dovizia di particolari. Nel quadro di sintesi vengono riportate quelle caratteristiche degli indicatori, standardizzate secondo le classificazioni accettate a livello internazionale, e quelle informazioni, di immediata lettura, essenziali per la loro caratterizzazione.

In particolare, utilizzando la legenda riportata nella stessa appendice, sono stati selezionati i seguenti campi:

- codice identificativo;
- obiettivi operativi;
- posizione nell'ambito del sistema logico DPSIR;
- scala spaziale;
- scala temporale;
- natura del dato;
- unità di misura.

### 3.3 Risultati della catalogazione

Sono stati catalogati 116 indicatori secondo le cinque categorie principali già citate. Il 36% di essi ricade nella categoria degli indicatori fisici ed ambientali, il 44% in quella degli indicatori economici, il 4% in quella degli indicatori sociali, il 9% in quella degli indicatori istituzionali e il 7% in quella degli indicatori composti.

La distribuzione in dettaglio degli indicatori è riportata in tabella 3.

In ragione del fatto che, come già detto, il sistema può considerarsi "aperto" e aggiornabile, i dati sopra riportati potrebbero subire nel tempo delle variazioni qualora si individuassero nuovi indicatori ritenuti utili per lo studio della desertificazione.

Indicatori fisici ed ambientali						
Clima	9	Idraulica	5	Vegetazione	8	42
Fuoco-incendi	5	Suolo	13	Risorse idriche	2	
Indicatori economici						
Economia agraria	11	Gestione agro-forestale	5	Turismo	4	51
Allevamento	4	Gestione del territorio	7	Uso delle risorse idriche	11	
Tecniche di coltivazione	5	Sviluppo socio-economico	4			
Indicatori sociali						5
Indicatori istituzionali						10
Indicatori composti						8

**Tab. 3** – Ripartizione degli indicatori di desertificazione catalogati nell'ambito del progetto ISPARIDE

#### 4. Discussione e conclusioni

Nell'ambito del progetto "ISPARIDE", cui si riferisce il presente volume, si è ritenuto indispensabile, come passo primario, effettuare una raccolta degli "elementi" di base, necessari per una ricerca sul tema della desertificazione, che sono rappresentati dai cosiddetti "indicatori di desertificazione". La raccolta e la successiva catalogazione degli stessi hanno messo in luce l'estrema eterogeneità degli indicatori, appartenenti come si è visto a categorie diverse. Detto risultato era sicuramente nelle previsioni considerando la complessità e l'interdisciplinarietà del problema "desertificazione". Le schede descrittive mettono inoltre in evidenza l'estrema variabilità della scala spaziale e temporale cui ogni indicatore si riferisce. Si passa, infatti, da indicatori riferibili a scale spaziali ridotte, per non dire puntuali, che necessitano anche di modalità di acquisizione con elevata frequenza, ad indicatori che hanno senso se riferiti a scale regionali, e anche più vaste, il cui dato, raccolto "una tantum", può essere considerato invariante. Ciò è collegato anche alla disponibilità e facilità di acquisizione del dato, e quindi alla sua "economicità": indicatori che necessitano di indagini e modalità di acquisizione complesse e costose ed altri i cui dati sono di facile reperibilità, anche dalla letteratura. Tutte queste componenti o problematiche sono sicuramente da considerare nel momento in cui si vuole affrontare un problema di valutazione della desertificazione. Un fenomeno così articolato richiederebbe, conseguentemente, una complessità di informazioni, con notevole esborso economico per la sua valutazione, che poi rischia di ridurre le disponibilità di risorse per interventi di mitigazione del fenomeno stesso.

Come conseguenza di quanto detto, il lavoro oggetto del presente contributo può divenire importante per chi intende affrontare detta problematica (sia esso uno studioso di problemi ambientali, un semplice utilizzatore di risorsa, un amministratore e pianificatore del territorio) perché mette in rilievo i limiti e le possibilità applicative di ogni indicatore, che, se non utilizzato nel modo più giusto, può anche portare a deduzioni completamente erranee per la valutazione del fenomeno della desertificazione.

A valle della scelta degli indicatori sta poi il problema della individuazione della metodologia più opportuna per l'utilizzo degli stessi. D'altronde sarebbe errato fermare una indagine alla sola individuazione e stima di uno o più indicatori senza poi giungere ad un indicatore composto che possa sintetizzare le varie "componenti" del problema desertificazione.

È per questo motivo che nel prosieguo del progetto, come si evince anche dagli altri contributi al presente volume, si è ritenuto giusto utilizzare la metodologia più ad oggi in uso, già testata ed oggetto di numerosi applicazioni in diverse parti del mondo.

Si sottolinea, infine, la necessità, come anche riportato in uno dei precedenti paragrafi, di effettuare un *feed-back* delle applicazioni degli indicatori, specie quando i dati degli stessi sono riferiti a fonti bibliografiche, utilizzando uno o più indicatori, non usati nella procedura applicativa, che servono così a testare il dato finale e quindi a validare i risultati ottenuti.

## Bibliografia

- Aubréville A. (1949). *Climats, forests et Désertification de l'Afrique tropicale*. Société de Editions Géographiques Maritimes et Coloniales, Paris.
- CNLD–Comitato Nazionale per la Lotta alla Desertificazione (1999). *Comunicazione Nazionale per la Lotta alla Siccità e alla Desertificazione*. Deliberazione CIPE n.154 del 22/12/1998. A cura del Ministero dell'Ambiente.
- Dregne H. (1983). *Desertification of arid lands*. Harwood Academic Publisher, London.
- EEA–European Environmental Agency (1995). *Europe's Environment*. The Dobbris Assessment. Copenhagen.
- EEA–European Environment Agency (1998). *An Inventory of European Policy Environment Targets and Sustainability Reference Values*. Final report.
- Enne G. e Zucca C. (2000). *Desertification indicators for the European Mediterranean region: state of the art and possible methodological approaches*. ANPA, Roma and NRD, Sassari, 261 pp.
- FAO/UNEP (1984). *Provisional methodology for assessment and mapping of desertification*. FAO, UNEP, Rome, 73 pp.
- Gentile A.R. (1999). *From national monitoring to European reporting: the EEA framework for policy relevant environmental indicators*. In: Enne G., D'Angelo M., Zanolla C.: Indicators for Assessing Desertification in the Mediterranean. Proceedings of the International Seminar held in Porto Torres (Italy), 18-20 September 1998. Osservatorio Nazionale sulla Desertificazione – Ministero dell'Ambiente, pp.16-26.
- Hingston F.J. e Gailitus V. (1976). *The geographic variation of salt precipitated over Western Australia*. Aust. J. Soil Res., 14, pp.319-335.
- Kosmas C., Poesen J. e Briassouli H. (1999). *Key indicators of desertification at the ESA scale*. In: 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). European Union, 18882, 11-30.
- MA–Millennium Ecosystem Assessment (2005). *Ecosystems and Human Well-being: Desertification Synthesis*. World Resources Institute, Washington, DC.
- Mainguet M. (1994). *What is Desertification? Definitions and Evolution of the Concept*. Desertification Natural Background and Human Mismanagement. Springer, Berlin, pp.1-16.
- Mitchell C.W. (1991). *Terrain Evaluation*. Longman, Essex.
- Monteleone M. (2006). *Problematiche della salinità nelle aree irrigue meridionali*. Ital. J. Agron. / Riv. Agron., 1, pp.129-202.
- OECD–Organisation for Economic Co-operation and Development (1993). *OECD core set of indicators for environmental performance reviews*. OECD Environmental Directorate Monographs n. 83.
- Quaranta G. e Salvia R. (a cura di) (2006). *Riqualificazione e gestione del territorio, lotta alla desertificazione e sviluppo sostenibile. Buone pratiche per i territori rurali*. Franco Angeli editore.
- Reynolds J.F. e Stafford Smith D.M. (2002). *Global Desertification: Do Humans Cause Deserts?*, vol. 88. Dahlem University Press, Berlin.
- SAR–Servizio Agrometeorologico Regionale per la Sardegna (2004). *Carta delle Aree Sensibili alla Desertificazione, scala 1:100.000*. Relazione tecnica.
- Sorriso-Valvo M., Bryan R. B., Yair A., Iovino F., Antronico L. (1995). *Impact of afforestation on hydrological response and sediment production in a small Calabrian catchment - Catania*, 25, 89-104.

- Spooner B. e Mann H.S. (1982). *Desertification and development*. Dryland ecology in social perspective. Academic Press, London.
- UNCCD (1994). *United Nations Convention to combat Drought and Desertification in those Countries experiencing serious drought and/or desertification, particularly in Africa*. Geneve.
- UNEP–United Nations Environmental Program (1977). *Draft plan of action to combat desertification*. United Nations Conference on Desertification, Nairobi, 29 August – 9 September 1977. Document A/CONF.74/L.36. UNEP, Nairobi.
- UNEP–United Nations Environmental Program (1991). *Status of Desertification and implementation of the United Nations plan of action to combat desertification*. Nairobi.
- UNEP–United Nations Environmental Program (1992). *World Atlas of Desertification*. Editorial commentary by Middleton N. and Thomas D.S.G. Arnold Publisher, London.
- van der Molen (1984). *Factors to be considered for prognosis: natural factors*. In: Prognosis of salinity and alkalinity. Soil Bulletins n. 31. FAO, Rome.
- Williams M.A.J. e Balling R.C. (1996). *Interactions of Desertification and Climate*. Arnold, London.

## APPENDICE

COD	INDICATORE	OBIETTIVI OPERATIVI	POSIZIONE NEL SISTEMA LOGICO DPSIR	SCALA SPAZIALE	SCALA TEMPORALE	NATURA DEL DATO	UNITÀ DI MISURA
F_Cl_1	indice di aridità	Mo	S	L/Sr	a	DB	var
F_Cl_2	indice di siccità	Mo	S	L/Sr	m/a	DB	var
F_Cl_3	precipitazioni efficaci	Mo/P	S	L/Sr	m/a	DB/F	mm; %
F_Cl_4	precipitazione media annua	Mo	S	L/Sr	a	DB	mm
F_Cl_5	erosività della pioggia	Mo	S	L/Sr	a	DB	var
F_Cl_6	temperatura dell'aria	Mo	S	L/Sr	a	DB	°C
F_Cl_7	velocità del vento	Mo	S	S/L	a	DB	m·sec <sup>-1</sup>
F_Cl_8	esposizione del versante	Mo	S	S	-	DB	gradi
F_Cl_9	stagionalità delle piogge	Mo	S	L	a	DB	var
F_F_1	aree bruciate	Mo	D/S	S/R	a	DB/RS	ha·km <sup>-2</sup>
F_F_2	frequenza di incendi	Mo	D/S	L/Sr	a	DB/RS	n(incendi)·km <sup>-2</sup> ·y <sup>-1</sup>
F_F_3	rischio di incendio	P	S	L/Sr	a	DB/RS/F	adim
F_F_4	modelli di combustione	P	D/S	S/L	a	DB/RS/F	n d
F_F_5	incidenza di incendi	Mo	D/S	L/Sr	a	DB/RS	%
F_I_1	frequenza di alluvioni	Mo	S/I	L/Sr	a	DB	n (di alluvioni)·y <sup>-1</sup>
F_I_2	morfologia degli alvei fluviali e delle pianure alluvionali	Mo	S	L	a	F/RS	var
F_I_3	densità di drenaggio	Mo	S	L	-	DB	km <sup>-1</sup>
F_I_4	erosività	Mo	S	Sr/R	m/a	DB	mm <sup>2</sup>

COD	INDICATORE	OBIETTIVI OPERATIVI	POSIZIONE NEL SISTEMA LOGICO DPSIR	SCALA SPAZIALE	SCALA TEMPORALE	NATURA DEL DATO	UNITÀ DI MISURA
F_I_5	soglia di ruscellamento	Mo	S	Sr/R	m/a	DB/F	mm
F_S_1	aree acidificate	P/Mo	D/S	L/Sr	s/a	DB/F	%
F_S_2	capacità di drenaggio di un suolo	Mo	S	S/Sr	a	DB/F	n d
F_S_3	capacità di infiltrazione	Mo	S	S/L	_	F	mm·h <sup>-1</sup>
F_S_4	contenuto di sostanza organica nei suoli	Mo	S	S/L	a	F/DB/RS	%
F_S_5	roccia madre	Mo	S	S/L	_	F/DB	n d
F_S_6	pietrosità	Mo	S	S/L	_	F/DB	%
F_S_7	pendenza del versante	Mo	S	S	_	DB	%; gradi
F_S_8	profondità del suolo	Mo	S	S/L	a	DB/F	cm
F_S_9	crosta superficiale	Mo	S	S/L	a	F/DB	var
F_S_10	struttura del suolo	Mo	S/I/R	S/L	a	F/DB	var
F_S_11	erosione del suolo	Mo	S	Sr	a	DB	t·ha <sup>-1</sup> ·y <sup>-1</sup>
F_S_12	stabilità degli orizzonti superficiali del suolo	Mo	S	S/L	a	F/DB	kg·cm <sup>-2</sup>
F_S_13	tessitura del suolo	Mo	S	S/L	_	F/DB	%
F_V_1	aree a macchia mediterranea	Mo	D/S	L/Sr	a	DB/RS	%
F_V_2	conservazione della biodiversità in ambienti naturali	Mo	D/S	L/Sr	a	DB	n (specie)
F_V_3	aree disboscate	Mo	D/S	L/R	a	DB/RS	%·y <sup>-1</sup>
F_V_4	resistenza alla siccità	Mo/P	S	L/Sr	_	DB/F/RS	adim

COD	INDICATORE	OBIETTIVI OPERATIVI	POSIZIONE NEL SISTEMA LOGICO DPSIR	SCALA SPAZIALE	SCALA TEMPORALE	NATURA DEL DATO	UNITÀ DI MISURA
F_V_5	resilienza degli ecosistemi	Mo/Mi	S/I	L/Sr	a	RS/DB	kCal·m <sup>-2</sup> ·mm <sup>-1</sup> ·y <sup>-1</sup>
F_V_6	protezione dall'erosione	Mo/P	S	L/Sr	_	DB/F/RS	adim
F_V_7	frammentazione delle aree boschive	Mo	D/S	L/Sr	a	DB/RS	%
F_V_8	copertura vegetale	Mo	S	L/R	a	DB/RS	%
F_W_1	cambiamenti nella profondità della falda	Mo	I	S/L	a	F/DB	m
F_W_2	salinità dell'acqua di falda	Mo/P	I/S	S/L	a	DB/F	dS·m <sup>-1</sup> ; mmol·l <sup>-1</sup>
E_Ag_1	costo relativo al consumo d'acqua a scopi irrigui	Mo	D	Sr/R	a	DB	€
E_Ag_2	dimensioni di aziende agricole a conduzione familiare	Mi	D	L/Sr	a	DB	n (membri dell'azienda)
E_Ag_3	percentuale di coltivatori anziani	P	D	L/Sr	a	DB	%
E_Ag_4	aree agricole in affitto	P	D/S	L/Sr	a	DB	%
E_Ag_5	aziende agricole di piccole dimensioni	Mo	D/S	Sr/R	a	DB	%
E_Ag_6	produttività forestale	Mo	D/S	L/Sr	a	RS	var
E_Ag_7	frammentazione di parcelle di terra	Mo	D/S	L/Sr	a	DB	%
E_Ag_8	indice di reddito lordo	Mo	D	Sr/R	a	DB	€
E_Ag_9	aree destinate alla produzione tradizionale	P	D	Sr/R	a	DB	%

COD	INDICATORE	OBIETTIVI OPERATIVI	POSIZIONE NEL SISTEMA LOGICO DPSIR	SCALA SPAZIALE	SCALA TEMPORALE	NATURA DEL DATO	UNITÀ DI MISURA
E_Ag_10	reddito netto dell'azienda agricola	Mo/P	D	L/Sr	a	DB	€
E_Ag_11	percentuale di reddito da impiego parallelo	Mo/P	D	L/Sr	a	DB	%
E_A_1	percentuale di pascolamento	Mo	D	L/Sr	a	DB	%
E_A_2	controllo del pascolo	Mi	R	L/Sr	a	DB	adim
E_A_3	intensità di pascolo	Mo/P	P	L/Sr	a	RS/DB	var
E_A_4	intensità di allevamento	Mo/P	P/D	L/Sr	a	DB	LSU·ha <sup>-1</sup>
E_C_1	applicazioni di fertilizzanti	P	D	Sr/R	a	DB	kg·ha <sup>-1</sup>
E_C_2	indice di meccanizzazione	P	D	L/Sr	a	DB	HP·ha <sup>-1</sup>
E_C_3	direzione di aratura	Mo/P	D	L/Sr	a	F	gradi
E_C_4	profondità di dissodamento	Mo/P	D	L/Sr	a	DB/F	cm
E_C_5	numero di operazioni di aratura	Mo/P	D	Sr/R	a	DB/F	n (operazioni) · y <sup>-1</sup>
E_G_1	attuazione di misure agro-ambientali	P	R	L/R	a	DB	%
E_G_2	percentuale di aree protette dagli incendi	P/Mi	D/S	Sr/R	a	DB	%
E_G_3	attuazione di piani di gestione forestale	P/Mi	D/S	L/Sr	a	DB	%
E_G_4	superfici terrazzate	P/Mi	R	L	a	DB/F/RS	%
E_G_5	pratica di agricoltura biologica	P/Mi	R	L/Sr	a	DB	%

COD	INDICATORE	OBIETTIVI OPERATIVI	POSIZIONE NEL SISTEMA LOGICO DPSIR	SCALA SPAZIALE	SCALA TEMPORALE	NATURA DEL DATO	UNITÀ DI MISURA
E_U_1	aree di suoli marginali	Mo	S	L/Sr	a	DB/F/RS	ha; %
E_U_2	abbandono delle aree agricole	Mo	R	L/R	a	DB/F	ha · y <sup>-1</sup>
E_U_3	estensione della vegetazione naturale	Mo/Mi	S	Sr/R	a	DB/F/RS	ha
E_U_4	tempo di persistenza del tipo di uso del suolo	Mo/P	S	L/Sr	a	DB/F/RS	y
E_U_5	indice di diversità di Shannon	Mo	S	L/Sr	a	DB	adim
E_U_6	incremento aree edificate	Mo	P	L/R	a	DB/RS	%
E_U_7	cambiamenti nell'uso del suolo	Mo	P	L/Sr	a	DB/RS	n d
E_SE_1	indice di occupazione	Mo	D	Sr/R	a	DB	%
E_SE_2	Prodotto Interno Lordo (PIL) pro capite	Mo	D	Sr/R	a	DB	€ · inh <sup>-1</sup>
E_SE_3	tasso di disoccupazione	Mo	D	Sr/R	a	DB	%
E_SE_4	valore aggiunto per settore	Mo	D	Sr/R	a	DB	€ · n (occupati) <sup>-1</sup>
E_T_1	applicazione del marchio ECOLABEL nel settore turistico	P/Mi	R	Sr/R	a	DB	%
E_T_2	contributo del settore turistico al Prodotto Interno Lordo locale	Mo/P	D	Sr/R	a	DB	%
E_T_3	presenze turistiche	Mo/P	D	Sr/R	a	DB	n (turisti) · y <sup>-1</sup>
E_T_4	intensità turistica	Mo/P	P/D	Sr/R	a	DB	n(turisti) · km <sup>-2</sup> · y <sup>-1</sup>

COD	INDICATORE	OBIETTIVI OPERATIVI	POSIZIONE NEL SISTEMA LOGICO DPSIR	SCALA SPAZIALE	SCALA TEMPORALE	NATURA DEL DATO	UNITÀ DI MISURA
E_Wu_1	sovrasfruttamento degli acquiferi	P/Mi	P	Sr	a	DB/F	m <sup>3</sup> ·y <sup>-1</sup>
E_Wu_2	salinizzazione degli acquiferi costieri	Mo/P	S/I/P	L/Sr	a	DB/F	dS·m <sup>-1</sup>
E_Wu_3	fonti idriche esterne al bacino per fini agricoli	Mo	D	Sr/R	a	DB	%
E_Wu_4	percentuale di regolazione delle risorse idriche	P/Mi	P/R	Sr	a	DB	%
E_Wu_5	percentuale di aree irrigue	P/Mo	D	Sr	a	DB	%
E_Wu_6	presenza di sistemi di irrigazione	P/Mi	D	Sr	a	DB	%
E_Wu_7	disponibilità idrica	Mo	S	R	a	DB/F	m <sup>3</sup> ·y <sup>-1</sup> ·inh <sup>-1</sup>
E_Wu_8	consumi d'acqua per settore	P/Mo	D	Sr/R	a	DB	m <sup>3</sup> ·y <sup>-1</sup> ; %
E_Wu_9	perdite idriche (dalla rete di distribuzione)	P/Mo	D	L/Sr	a	DB	%
E_Wu_10	riutilizzo delle acque reflue	Mi	R	Sr/R	a	DB	m <sup>3</sup> ·y <sup>-1</sup> ; %
E_Wu_11	deficit idrico	Mo	P	R	a	DB	m <sup>3</sup> ·y <sup>-1</sup>
S_1	livello di scolarizzazione nella popolazione adulta	Mo	D	R	a	DB	%
S_2	indice di GINI (distribuzione dei redditi)	Mo	S	R	a	DB	adim
S_3	indice di anzianità	Mo	D	R	a	DB	%
S_4	densità della popolazione	Mo	P	L/Sr	a	DB	inh·km <sup>-2</sup>

COD	INDICATORE	OBIETTIVI OPERATIVI	POSIZIONE NEL SISTEMA LOGICO DPSIR	SCALA SPAZIALE	SCALA TEMPORALE	NATURA DEL DATO	UNITÀ DI MISURA
S_5	tasso di crescita della popolazione	Mo	D	L/Sr	a	DB	%
I_1	attuazione di politiche di protezione ambientale	P/Mi	R	Sr/M	a	DB	%
I_2	percentuale di sussidi comunitari alla produzione	P	D	R/M	a	DB	%
I_3	aree oggetto di piani idrologici o forestali	P/Mi	R	Sr/R	a	DB	ha
I_4	percentuale di spesa per misure e azioni di lotta alla desertificazione	P/Mi	R	Sr/M	a	DB	%
I_5	percentuale di attuazione di Agenda 21 locale	P/Mi	R	Sr/R	a	DB	%
I_6	numero di ONG per lo sviluppo sostenibile	P/Mi	R	Sr/R	a	DB	n (ONG)
I_7	percentuale di aree protette	P/Mi	R	Sr/R	a	DB	%
I_8	percentuale di rifiuti solidi riciclati	P/Mi	R	L/Sr	a	DB	%
I_9	percentuale del PIL per ricerca e sviluppo	P/Mi	R	R/M	a	DB	%
I_10	adozione di piani di bacino	P/Mi	R	Sr/R	a	DB	n d
C_1	tasso di erosione idrica a livello regionale	Mo	S	R	a	DB/RS	t·ha <sup>-1</sup> ·y <sup>-1</sup>
C_2	indice di qualità del suolo	Mo	S	L/R	a	DB/F	adim

COD	INDICATORE	OBIETTIVI OPERATIVI	POSIZIONE NEL SISTEMA LOGICO DPSIR	SCALA SPAZIALE	SCALA TEMPORALE	NATURA DEL DATO	UNITÀ DI MISURA
C_3	indice di qualità della vegetazione	Mo	S	L/R	a	DB/F/RS	adim
C_4	indice di qualità del clima	Mo	S	L/R	a	DB	adim
C_5	indice di qualità della gestione	Mo/P/Mi	S	L/R	a	DB	adim
C_6	indice di sensibilità ambientale alla desertificazione	Mo/P/Mi	S/I	L/R	a	DB/F/RS	adim
C_7	intensità d'uso del suolo	Mo/P	D	Sr/R	a	DB	adim
C_8	indice di povertà	Mo	D	Sr/R	a	DB	%

LEGENDA CODICI INDICATORI							
CATEGORIE PRINCIPALI (prima lettera)		CATEGORIE SECONDARIE (seconda lettera)					
F	indicatori fisici ed ambientali	Cl	clima	W	risorse idriche	U	gestione del territorio
E	indicatori economici	F	fuoco-incendi	Ag	economia agraria	SE	sviluppo socio-economico
S	indicatori sociali	I	idraulica	A	allevamento	T	turismo
I	indicatori istituzionali	S	suolo	C	tecniche di coltivazione	Wu	uso delle risorse idriche
C	indicatori composti	V	vegetazione	G	gestione agro-forestale		

LEGENDA OBIETTIVI OPERATIVI	
Mo	Monitoraggio
P	Prevenzione
Mi	Mitigazione

LEGENDA SISTEMA LOGICO DPSIR	
D	forze determinanti
P	pressione
S	stato
I	impatto
R	risposta

LEGENDA SCALA SPAZIALE	
S	stazione
L	locale
Sr	sub-regionale
R	regionale
M	area dell'Europa Mediterranea

LEGENDA SCALA TEMPORALE	
g	giornaliera
m	mensile
s	stagionale o inferiore all'anno
a	annuale o pluriennale
-	scala non definibile

LEGENDA NATURA DEL DATO	
DB	archivi e database
F	rilevamenti di campagna
RS	telerilevamento

LEGENDA UNITÀ DI MISURA							
var	variabile con la metodologia	gradi	gradi sessagesimali	n d	non definibile	dS	deciSiemens
mm	millimetri	ha	ettari	h	ora	mmol	millimoli
%	percentuale	km	chilometri	cm	centimetri	l	litro
°C	gradi Celsius	n	numero	t	tonnellate	€	euro
m	metri	y	anno	kg	chilogrammi	gC	grammi di carbonio equivalente
sec	secondi	adim	numero adimensionale	kCal	chilocalorie		
LSU	Live Stock Unit	HP	Horse Power	inh	abitanti		



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

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

T. Caloiero<sup>1</sup>, R. Coscarelli<sup>2</sup>

---

#### Sommario

---

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

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

---

#### Summary

---

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

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

---

<sup>1</sup> Dipartimento di Ingegneria Idraulica, Ambientale, Infrastrutture Viarie, Rilevamento (DIAR), Politecnico di Milano

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

## 1. Generalità

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

## **2. Metodologie**

### **2.1 Metodo dei minimi quadrati**

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

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

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

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

## 2.2 Rapporto percentuale

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

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

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

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

## 2.3 Test di Mann-Kendall

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

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

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

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

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

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

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

e segue una distribuzione approssimativamente normale (Kendall, 1962).

L'ipotesi di trend positivo o negativo, pertanto, risulta verificata con livello di significatività  $\alpha$  se:

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

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

#### 2.4 Median change point test

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

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

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

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

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

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

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

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

### 3. Caso di studio

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

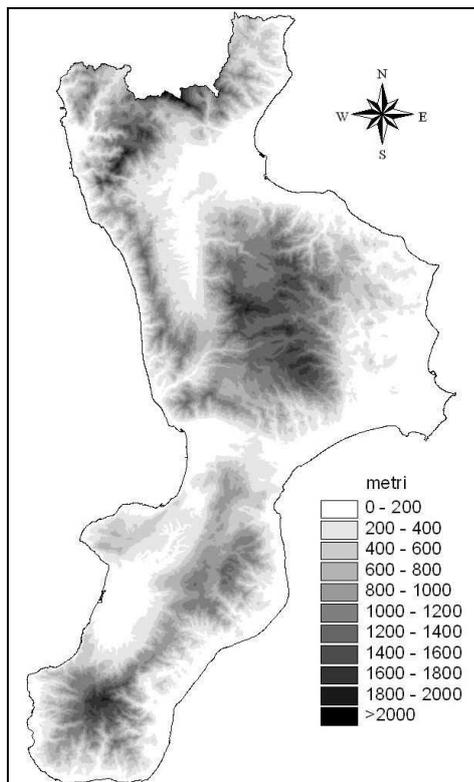
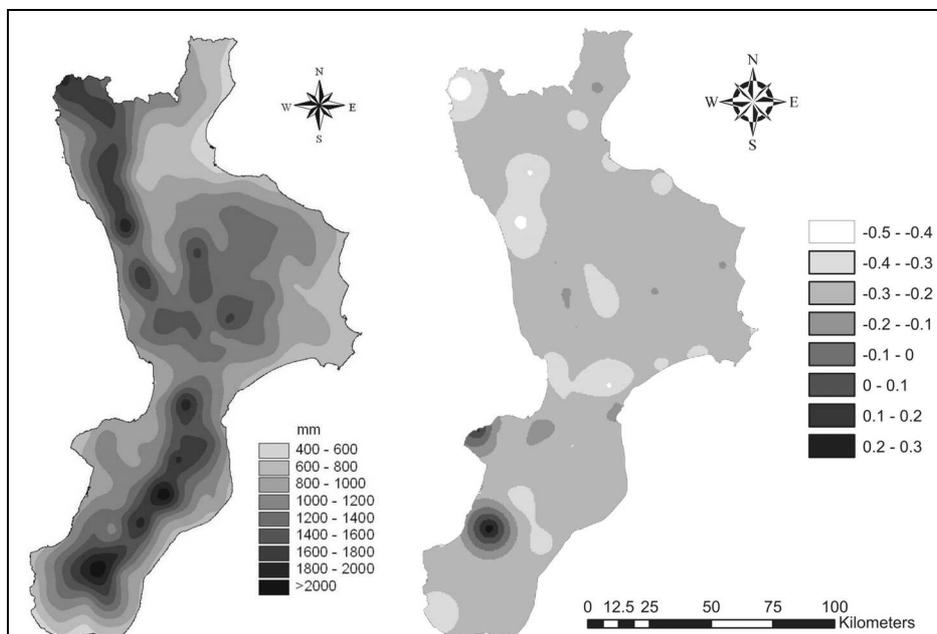


Fig. 1 - Andamento altimetrico della Calabria



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

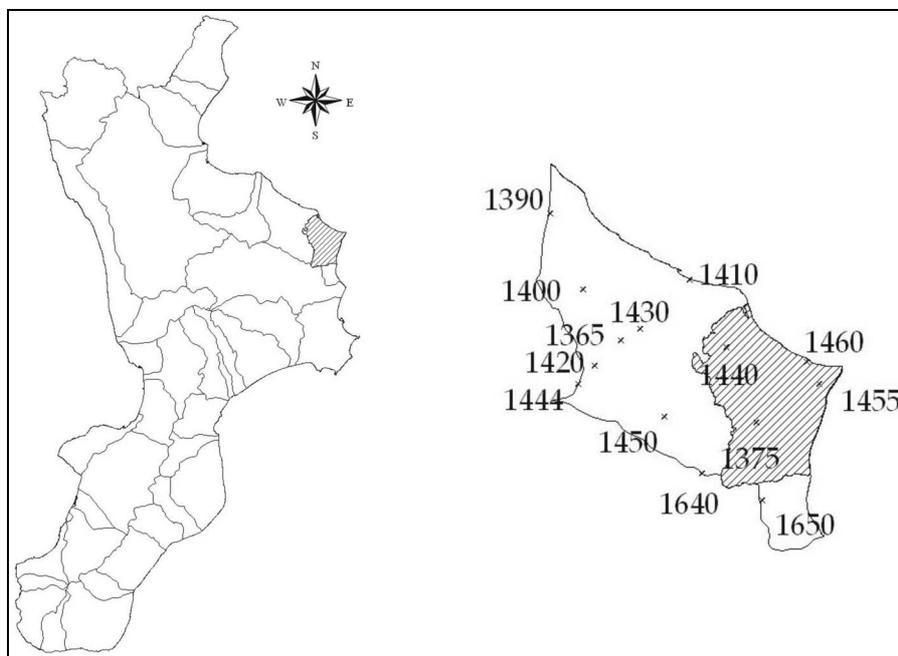
Infatti, se da una parte nelle zone litoranee e nei versanti che si affacciano sul mare si riscontra un clima tipicamente mediterraneo con inverno mite ed estate calda e siccitosa, dall'altra nelle zone interne, con l'aumentare dell'altitudine, il clima può definirsi montano-mediterraneo, con inverni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

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

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

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

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



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

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

**Tab. 1** – Caratteristiche delle stazioni pluviometriche considerate

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

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

#### 4. Elaborazioni

##### 4.1 Temperature

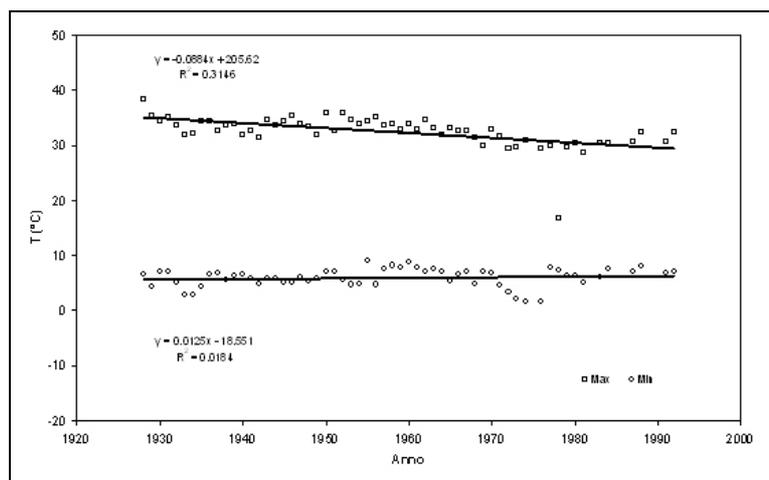
A causa della scarsa numerosità di dati di temperatura, la valutazione dei trend col metodo delle medie mobili risulterebbe poco significativa. Conseguentemente, si procede a una valutazione di possibili trend con il solo metodo dei minimi quadrati.

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

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

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

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



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

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

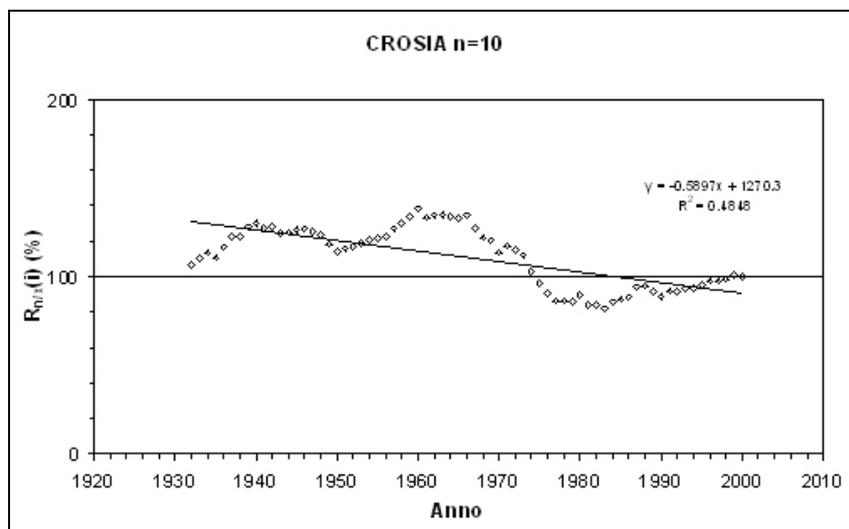
#### 4.2 Precipitazioni

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

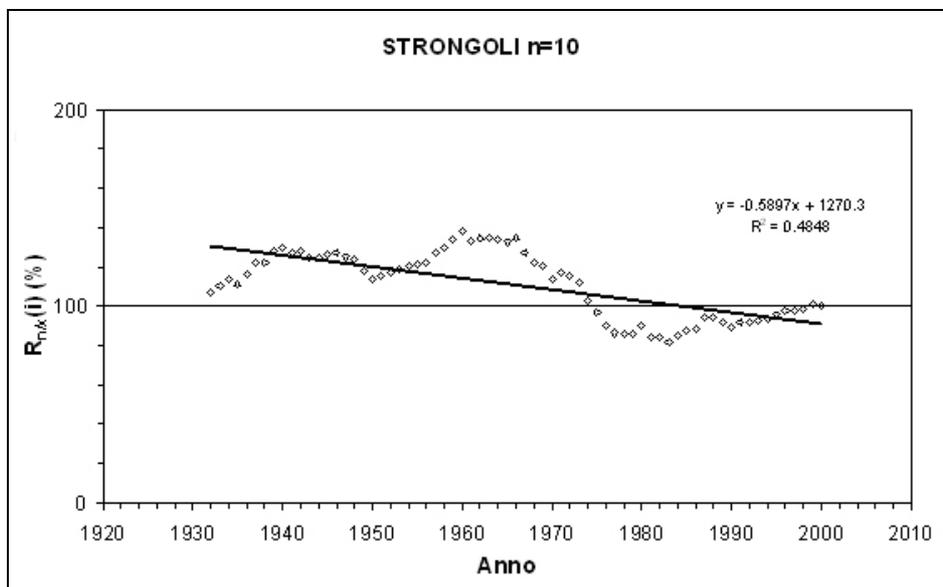
Per la stazioni di Crosia e Strongoli, che tra quelle in esame sono quelle che presentano serie storiche più continue, è stato calcolato il rapporto percentuale,  $R_{n/x}$  (con  $n=10, 20$  e  $30$  anni e  $x=2000$ ), relativo all'altezza di pioggia annua,  $h$ , al numero di giorni piovosi,  $NGP$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

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

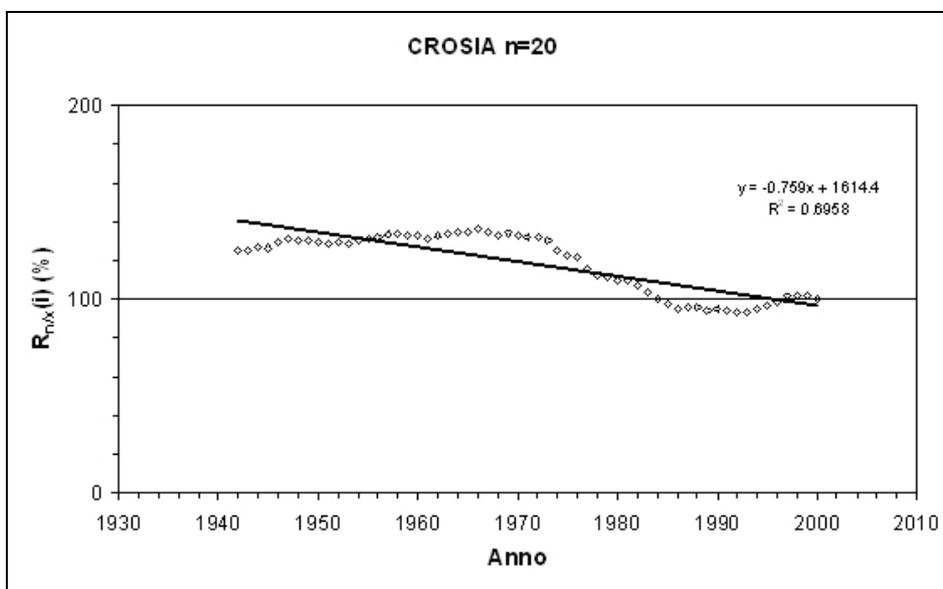
**Tab. 2** – Statistiche relative alle serie storiche delle stazioni oggetto di studio (SD = Deviazione Standard, V = Varianza, CV = Coefficiente di variazione, CS = Coefficiente di asimmetria, CK= coefficiente di curtosi)



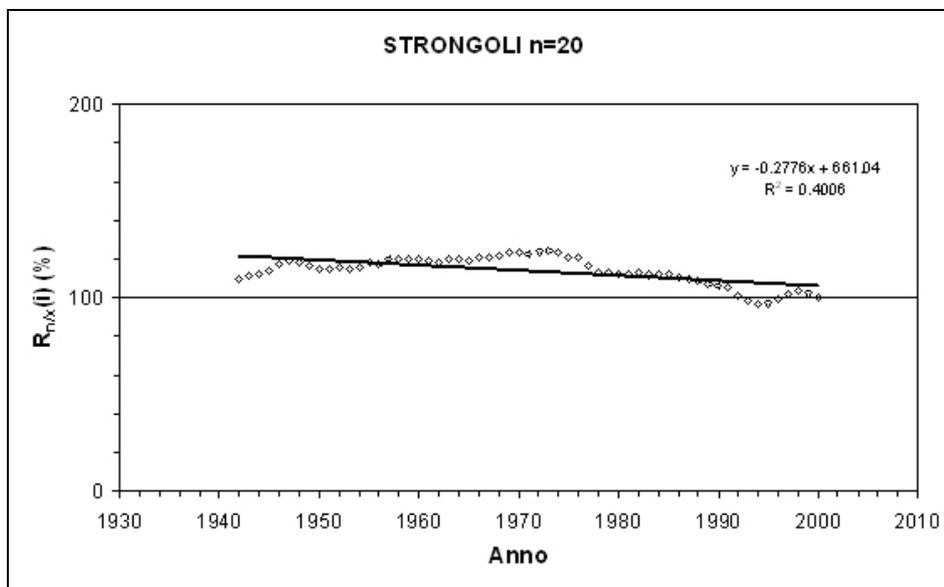
**Fig. 5** – Trend del rapporto percentuale per l'altezza di pioggia annua,  $h$ , con  $n=10$  anni e  $x=2000$  (stazione di Crosia)



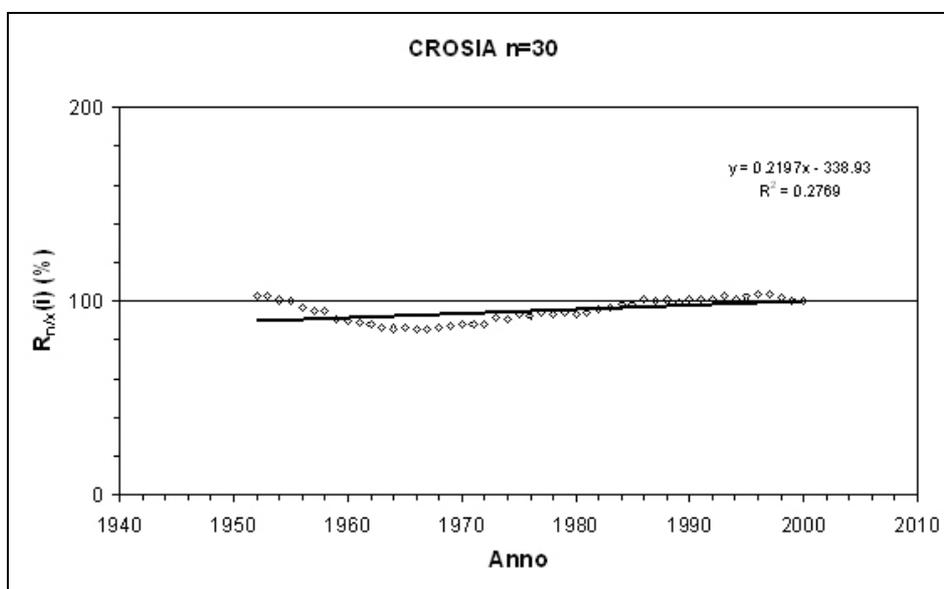
**Fig. 6** – Trend del rapporto percentuale per l'altezza di pioggia annua,  $h$ , con  $n=10$  anni e  $x=2000$  (stazione di Strongoli)



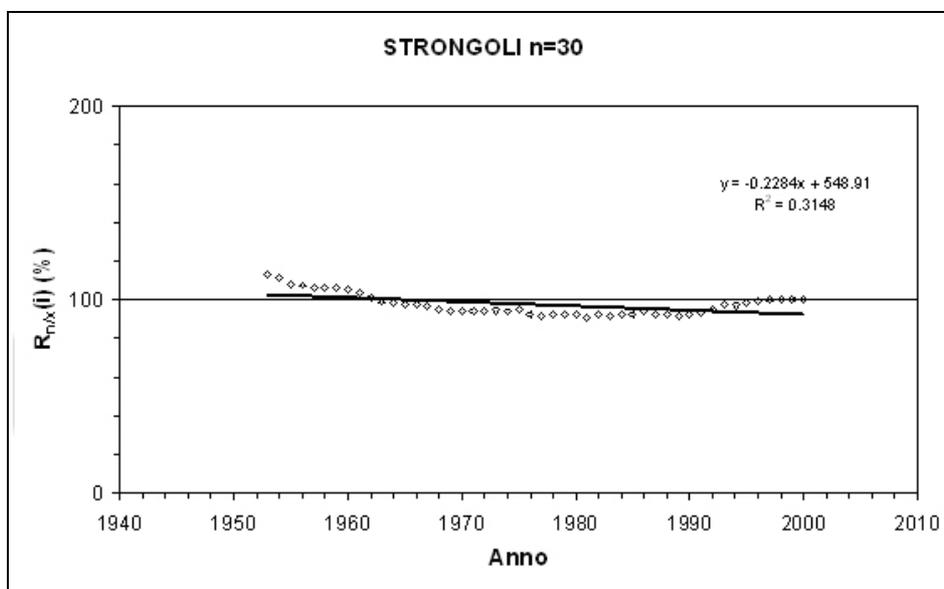
**Fig. 7** – Trend del rapporto percentuale per il numero di giorni piovosi,  $NGP$ , con  $n=20$  anni e  $x=2000$  (stazione di Crosia)



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



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



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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

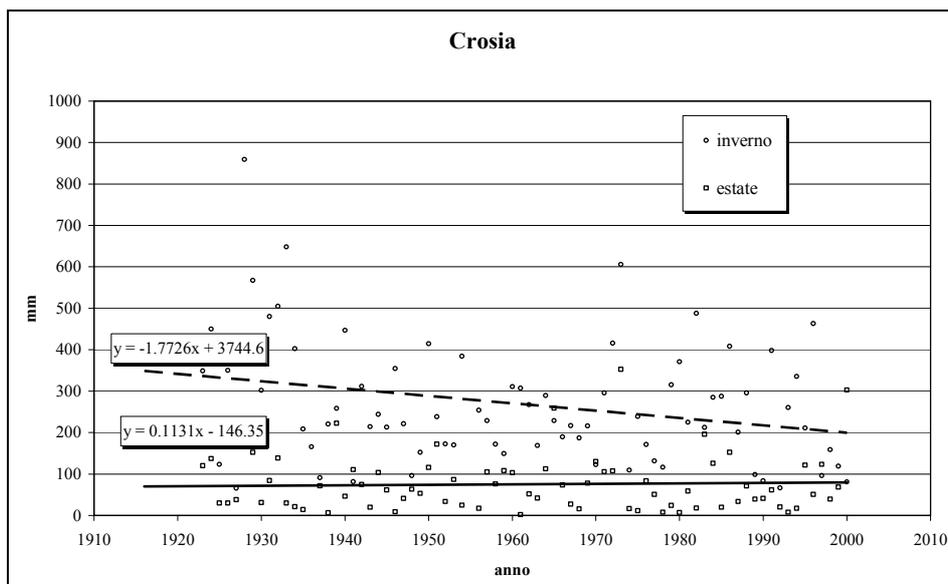
**Tab. 4** – Risultati del test di Mann-Kendall per le serie pre-whitened (in corsivo risultati statisticamente significativi)

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

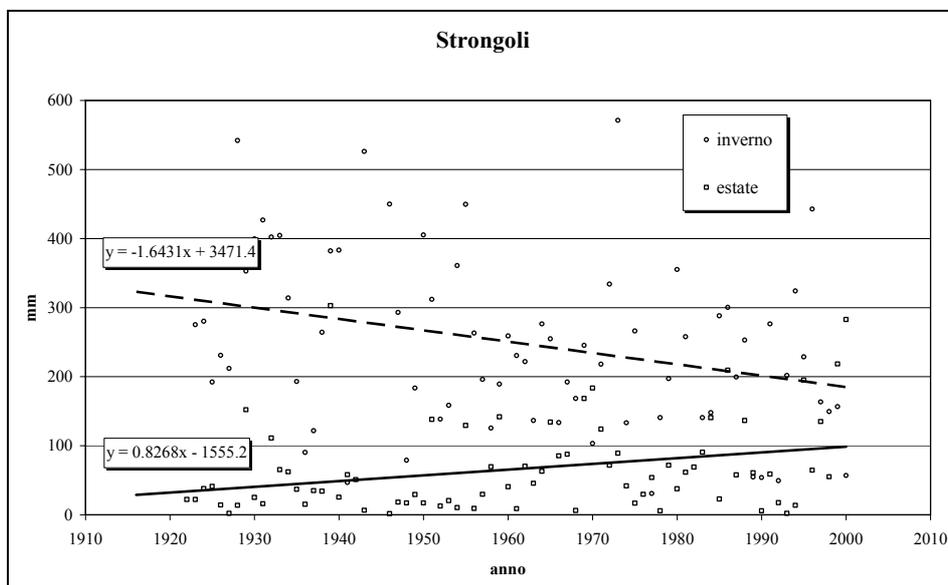
Dall'analisi effettuata per le stazioni di Crosia (Fig. 11) si evidenzia una riduzione media delle precipitazioni invernali di 1,7 mm/anno ed un aumento delle precipitazioni estive di 0,11 mm/anno. Per quanto concerne la stazione di Strongoli (Fig. 12), si ha una riduzione delle precipitazioni invernali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

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

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



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



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

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

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

## 5. Conclusioni

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

## Bibliografia

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

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

# ANALISI DELLA QUALITÀ DELLA SOSTANZA ORGANICA E DEI COMPLESSI UMO-ENZIMATICI PER LA VALUTAZIONE DEL RISCHIO DI DESERTIFICAZIONE

*Analysis of soil organic matter and humic-enzyme complexes  
for the assessment of desertification risks*

B. Ceccanti<sup>1</sup>, G. Masciandaro<sup>1</sup>, S. Doni<sup>1</sup>, C. Macci<sup>1</sup>

---

## Sommario

---

I cambi climatici causano la perdita di carbonio organico (COS) e di biodiversità dei terreni. In questo capitolo si presenta una metodologia di studio del ciclo della sostanza organica e delle sue forme umo-enzimatiche attive, stabili e persistenti anche in situazione di forte degrado fisico-biologico. Lo scopo è quello di valutare il livello di degradazione del suolo e le sue capacità di risposta ai trattamenti di recupero in campo. Nello studio si sono usati parametri (markers) di tipo biochimico, chimico-strutturale e microbiologico, secondo il protocollo del CNR-ISE di Pisa e del CSIC-CEBAS di Murcia (Spagna). I risultati hanno confermato: 1) l'esistenza di una relazione fra perdita di carbonio umico e cambiamenti microbiologici e chimico-fisici nel terreno; 2) i terreni, seppur degradati, sono ancora lontani dalla soglia di desertificazione e 3) mostrano una buona capacità di auto-ripresa con i trattamenti anche dopo anni dal recupero. La metodologia, per separare e caratterizzare le sostanze umiche e i complessi umo-enzimatici del terreno, fa uso della tecnica analitica distruttiva di pirolisi-gas cromatografia (Py-GC) e delle tecniche conservative di Ultrafiltrazione su membrana (UF) e Isoelettro-focalizzazione (IEF). Tali tecniche, affiancate oggi ad altre misure convenzionali di tipo agro-chimico, sono state proposte in una serie di modelli sperimentali di campo, nell'ambito di progetti internazionali (Eu-Strep-INDEX; Eu-Life ALMOND PRO-SOIL).

---

## Summary

---

The climate change causes loss of organic carbon (COS) and biodiversity in soils. In this chapter a methodology for studying the cycle of COS and his humic forms, which are stable and persistent even in physically and biologically degraded soils, is proposed. The aim is to assess soil degradation degree and his capacity of react to field remediation treatments. Biochemical, chemical-structural and microbiological parameters (markers) have been employed as proposed by the protocol of CNR-ISE of Pisa and by the CSIC-CEBAS of Murcia (Spain). The results have confirmed: 1) the existence of a relation between humic-Carbon loss and microbiological and chemical-physical changes

---

<sup>1</sup> Consiglio Nazionale delle Ricerche - Istituto per lo Studio degli Ecosistemi (CNR-ISE), sede di Pisa

in soil; 2) soils, even degraded, are still far from desertification threshold and 3) they show self improving capability even after years from their remediation. The methodology, for the separation and characterization of the humic substances and humic-enzyme complexes, is based on a destroying technique of Pyrolysis-Gas-Chromatography (Py-GC) and on conservative techniques such as Isoelectric focussing (IEF) and membrane-Ultrafiltration (UF). Such techniques, coupled with other traditional agro-chemical analysis, have today been proposed in an experimental field model, executed in the framework of international projects (Eu-Strep-INDEX and EU-Almond PRO-SOIL).

## 1. Generalità

Cresce, a livello internazionale, l'attenzione per i cambiamenti climatici e le sue ripercussioni sull'ambiente, che mette a rischio la sostenibilità del nostro modello di sviluppo. A rischio non c'è solo lo sconvolgimento idrogeologico del pianeta, l'assottigliamento dei ghiacciai con l'inevitabile innalzamento del livello del mare, ma anche la perdita di una considerevole parte delle riserve di carbonio organico, perdita di biodiversità, che porta ad un aumento dell'aridità, desertificazione e salinità dei suoli. Si ritiene che il carbonio organico del suolo (COS) abbia un ruolo importante nell'alleviare l'impatto del riscaldamento del pianeta, nel mantenere la fertilità biologica del terreno e l'attuale capacità di produzione di alimenti (Lal, 2004).

### 1.1 *La scienza nella gestione del territorio*

Poiché il suolo è una risorsa limitata e fragile ma essenziale per il funzionamento dell'ecosistema globale, vi è una crescente necessità, sia a livello scientifico che politico-decisionale, di approfondire gli studi sulla qualità del suolo, sulla sua stabilità e funzionalità ecologica, sulla fragilità dei meccanismi di difesa di fronte a stress naturali e/o antropici. Il progetto Europeo Strep-INDEX (<http://www.soil-index.com>) ha esaminato una serie di parametri indicatori di tipo fisico-chimico, microbiologico e genetico-molecolare per valutare lo stato di degradazione dei terreni in ambito mediterraneo, in funzione dell'uso e dei sistemi di recupero con tecniche tradizionali.

La metodologia adottata dal progetto INDEX, relativa allo studio del COS, era già stata in parte utilizzata e validata scientificamente dai ricercatori del CNR-ISE (Consiglio Nazionale delle Ricerche, Istituto per lo Studio degli Ecosistemi di Pisa) con risultati molto promettenti dal punto di vista scientifico e applicativo come riportato in recenti convegni e pubblicazioni (Ceccanti et al., 2007; Ceccanti e Masciandaro, 2003; Masciandaro et al., 1998; Masciandaro e Ceccanti, 1999). La metodologia si basa essenzialmente sul monitoraggio della sostanza organica del terreno nell'intento di definire meglio il ciclo del carbonio, in relazione alle molteplici funzioni che esso ha nel terreno: creazione di aggregati stabili, aumento della porosità, della ritenzione idrica, della permeabilità all'aria e all'acqua, attivazione dei processi metabolici, neutralizzazione e demolizione delle sostanze inquinanti compresi i metalli pesanti, stimolo delle

biomasse microbiche, diminuzione della densità e dell'erosione, sequestro del carbonio atmosferico.

Queste nuove conoscenze, affiancate a quelle di tipo microbiologico e agronomico apportate dai ricercatori spagnoli del CSIC-CEBAS di Murcia (Bastida et al., 2006), sono state di grande aiuto nel guidare la fase di recupero agroecologico dei suoli stanchi, degradati biologicamente e in via di desertificazione (Ceccanti et. al., 2007).

## 1.2 Il Carbonio organico del suolo (COS)

Il COS è una componente dinamica dell'ecosistema terrestre, che muta continuamente all'interno del terreno nelle due direzioni verticale e orizzontale, e all'esterno nell'atmosfera e nella biosfera. Una stima della quantità di COS sequestrata in forma relativamente stabile nel terreno (riserva di carbonio), o la quantità respirata (emissione di CO<sub>2</sub>) è possibile oggi con gli attuali modelli matematici ma non è privo di incertezze e imprecisioni a causa delle forti variazioni del COS a piccola scala.

Il fattore scala è rilevante e viene determinato dalle particolari caratteristiche geofisiche e pedologiche del territorio di riferimento. Gli esperti di suolo ritengono che fattori quali la copertura vegetale, il tipo di vegetazione, uso e tipologia del suolo, esposizione, pendenza, morfologia, topografia, porosità, infiltrazione, ritenzione idrica, ecc., condizionano fortemente la variabilità, la composizione e l'evoluzione nel tempo e nello spazio del COS. Capire e utilizzare l'eterogeneità del COS, comunque, può migliorare le previsioni del bilancio del Carbonio e aiutare a prendere misure appropriate per favorire il suo sequestro dall'atmosfera al terreno.

Le componenti strutturali del COS sono:

a) frazione facilmente metabolizzabile costituita da un pool di prodotti labili, quali carboidrati semplici, proteine, aminoacidi, ecc. È una frazione a rapida degradabilità e per questo costituisce una fonte di nutrienti minerali prontamente assimilabili dalla pianta (ammoniaca, nitrati, solfati, fosfati) che provengono dalla mineralizzazione delle forme organiche di questi elementi.

b) frazione relativamente resistente alla biodegradazione costituita da composti chimicamente complessi, polimerici condensati, a carattere aromatico e alifatico, derivati fondamentalmente dalla degradazione e riarrangiamento molecolare dei residui vegetali ligno-cellulosici; sono i tipici acidi umici e acidi fulvici, con carattere acido per la presenza di gruppi funzionali polifenol-derivati e poliacarbossilici. Questa frazione costituisce una riserva energetica lentamente disponibile ma essenziale per l'attivazione del ciclo biogeochimico degli elementi nel terreno.

c) nucleo stabile (simile all'umina) recalcitrante alla biodegradazione anche in condizioni fisiche estreme, insolubile, poco reattivo chimicamente e biologicamente, ma fisicamente associato a proteine enzimatiche e colloidali minerali, resistente all'attacco proteolitico, presente in ogni ambiente fisico e persistente nel tempo.

Le frazioni a-b) contengono sostanza umica eterogenea, enzimaticamente attiva (complessi umo-enzimatici) a medio-alto peso molecolare (>10.000 dalton). La frazione c) rappresenta il "nucleo stabile" (Fig. 1) delle sostanze umiche, che sono gli unici geopolimeri naturali stabili ad alto peso molecolare che si trovano a contatto con il mondo minerale; essi evolvono lentamente e si associano agli enzimi immobilizzandoli definitivamente nei reticoli polimeri: sono molto resistenti anche a temperature superiori a 60-90°C (Nannipieri et al., 1982). La maggior parte delle sostanze umiche sono insolubili nel terreno e diventano parte dell'humus quando sono associate a materiale colloidale limo-argilloso, ai residui di piante, microrganismi, piccoli animali.

### **1.3 Sostanze umiche nel monitoraggio del suolo**

Il contenuto medio di COS nella maggior parte di terreni agricoli è dell'ordine dell'1-5%, e le sostanze umiche dell'ordine di 0.1-1%. Nonostante il basso contenuto, le sostanze umiche esplicano un ruolo importante dal punto di vista chimico, fisico e biochimico. L'attività fisica è espressa dalle forze di coesione delle molecole umiche verso i minerali argillo-limosi, riducendo così il rischio di polverizzazione del suolo e l'erosione.

L'attività chimica è collegata soprattutto alla notevole capacità di scambio verso gli elementi minerali del terreno che sono così liberati e messi a disposizione della pianta, mentre riescono anche a ridurre la disponibilità e la solubilità dei metalli pesanti e dei pesticidi, o dei loro residui di degradazione. L'attività biochimica è legata alla presenza di complessi umo-enzimatici attivi (enzimi extracellulari) che cooperano con i microrganismi nel mantenere attivo il ciclo metabolico degli elementi nutritivi, anche quando la vita microbica è rallentata a causa di forti stress ambientali. In altre parole, la parte labile e biodegradabile del COS scambia energia e materiale fra i diversi ecosistemi, in quanto porta ad una immissione di anidride carbonica nell'atmosfera e ad un flusso di nutrienti dal suolo alle acque circolanti e di falda, mentre la parte stabile o recalcitrante scambia energia e informazioni dentro l'ecosistema suolo, essendo una riserva energetica a disposizione per lunghi tempi (anni).

Conoscere il COS e l'evoluzione biodinamica e strutturale delle sue forme attive è di grande rilevanza quando si vuol recuperare un ecosistema o aumentarne la sua qualità e produttività. Purtroppo il flusso delle informazioni circola solo nel mondo scientifico e accademico, e solo deboli echi arrivano alle parti veramente interessate all'uso sostenibile del suolo: le agenzie regionali, gli agricoltori, le autorità di governo locali e centrali, le associazioni naturalistiche.

### **1.4 Il complesso umo-enzimatico**

L'humus si comporta come un colloide idrofilo, di carattere acido e elettro-negativo (molti gruppi attivi COO<sup>-</sup> e OH), ha elevata capacità di imbibizione. Le caratteristiche chimiche consentono la formazione di prodotti organici costituiti da complessi humus-minerali utili alle piante (humus-fosforo, humus-

calcio, humus-magnesio, humus-ferro, ecc.) e humus-enzimi. Gli Enzimi legati stabilmente alle sostanze umiche e ai colloidali minerali del terreno “marcano” l’evoluzione della sostanza organica che nel tempo cambia da una *forma labile ad una stabilizzata* e umificata. Il complesso umo-enzima costituisce una *riserva* di energia biochimica e di materia capace di preservare e riattivare la funzionalità dell’ecosistema anche in condizioni di massimo stress. Quindi, i complessi umo-enzimatici, cioè le sostanze umiche biochimicamente attive, sono di grande importanza nella scienza del suolo, in quanto sono i principali responsabili della fertilità biologica del terreno e sembrano essere la condizione necessaria per la sua resilienza.

Le sostanze umiche sono geopolimeri naturali, caratterizzati da una “sito-specificità” in quanto nascono da processi microbiologici e biochimici di biodegradazione della sostanza organica. Poiché il loro tempo di permanenza nel terreno è di gran lunga superiore a quello della sostanza organica degradabile che li ha prodotti (Kimber et al., 1988), si ritiene che abbiano il tempo di reagire con l’ambiente fisico circostante e di conformarsi a questo, assumendo così anche le sue caratteristiche.

Le sostanze umiche si possono considerare quindi i reperti più antichi del terreno insieme ai minerali, ma si distinguono da essi in quanto sono polimeri di origine biologica e, come tali, hanno in sé l’impronta dei processi che si sono succeduti nel tempo: una sorta di “codice genetico” tutto da scoprire e decodificare, che può raccontare la composizione dell’atmosfera nel passato, il tipo di vegetazione e la successione microbica (biodiversità) che ha interessato quel dato ecosistema in una specifica condizione climatica. Un’entità polimerica simile ad un nastro magnetico, quindi, che oggi può essere studiato e riprodotto con le tecniche di estrazione e purificazione affiancate alle nuove e potenti tecniche genetico-biomolecolare (Ceccanti et al., 2007; Masciandaro et al., 2007; Calvo-Bado e Wellington, 2007; Brusetti e Daffonchio, 2005; Balloi, 2005). Ne deriva che oggi le sostanze umiche si possono studiare a scala micrometrica (cellule, enzimi, DNA, nutrienti, ecc) e trarre informazioni utili ad interpretare fenomeni anche a scala superiore (pianta, radice, ecosistema, clima).

### ***1.5 Il nucleo stabile (complesso umo-enzimatico extracellulare)***

Un trentennio di ricerche sull’argomento ha contribuito a rafforzare le conoscenze sulle sostanze umiche, sulle loro proprietà biochimico-funzionali, sulla loro reattività nell’ambiente. (Ceccanti et al., 1978; Ceccanti et al., 1986; Ceccanti e Masciandaro 2003). I processi chimico-fisici e microbiologici di degradazione dei residui vegetali portano alla formazione di humus che strutturalmente è molto simile ancora al materiale ligno-cellulosco che le ha prodotte. La persistenza nel terreno per tempi lunghi favorisce le reazioni con i minerali (argilla, limo) fino ad arrivare ad un livello di “maturazione” o invecchiamento ossidativo, che porta alla formazione di un “nucleo stabile” (Fig. 1), a carattere preva-

lentamente aromatico e condensato (geopolimeri), strutturalmente (e visivamente) non più riconducibile alle lignine dei residui vegetali da cui derivano. Poiché tali complessi sono stati trovati in una grande varietà di terreni naturali e/o degradati biologicamente e fisicamente, si può supporre che essi rappresentino una sorta di barriera biologica a difesa della degradazione finale e irreversibile del terreno (Klein et al., 1985; Masciandaro et al., 1999; Ceccanti e Masciandaro, 2003). La sostanza umica e le barriere umo-enzimatiche potrebbero concorrere così in modo determinante a rendere il terreno resiliente, cioè in grado di contrapporsi ad ogni sollecitazione esterna (Lal, 1994).

In figura 1 si riporta uno schema concettuale della formazione delle sostanze umiche dall'interazione dei tre comparti dinamici del terreno: piante, minerali, microrganismi. Occorre convincersi che il suolo è come una grande cellula vivente, bisognosa di cure e attenzioni, da cui bisogna imparare, forse anche reimpostando il modello di vita. La natura lavora a ciclo chiuso, metabolizzando i suoi residui di "lavorazione" e pompando fuori il "disordine", mentre l'uomo, per una sua (in)naturale vocazione al massimo profitto, lavora a cicli aperti, dissipativi di energia e risorse, inquinanti e non sostenibili a lungo termine (Masciandaro e Ceccanti, 2005). Di seguito si riporta una proposta di *glossario* per la diffusione dei concetti relativi al suolo e alle risorse in genere in ambito politico-istituzionale e professionale: mai come oggi si sente l'esigenza di parlare tutti un *linguaggio comune*.

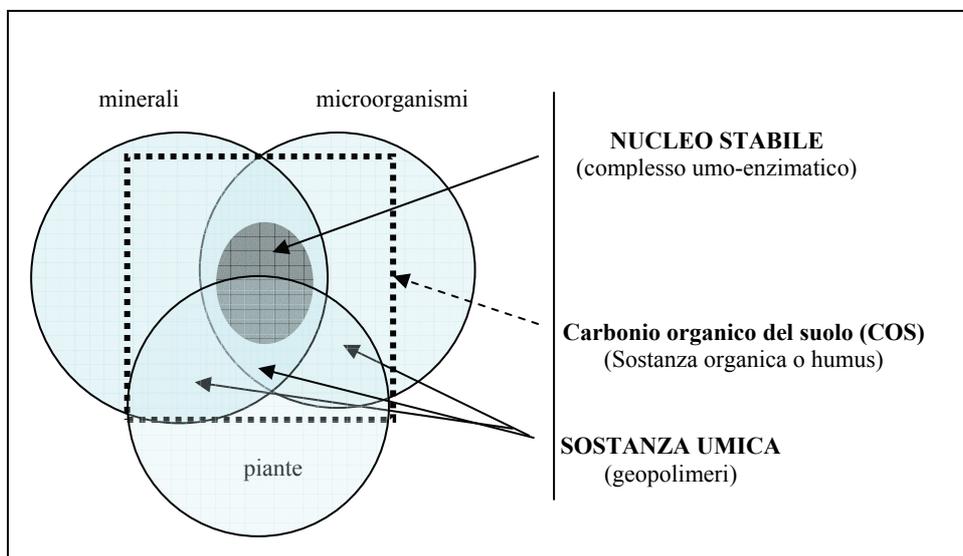


Fig. 1 - Interazioni nel terreno fra i vari comparti biologici e minerali

**Carbonio e ambiente:** 1500 miliardi di tonnellate di C-organico; Atmosfera: 720 miliardi di tonnellate di C sotto forma di anidride carbonica; Biomassa vegetale: 560 miliardi di tonnellate di C-organico. L'era industriale con l'uso di combustibili e la deforestazione ha determinato una forte diminuzione della biomassa vegetale e della sostanza organica del suolo, con conseguente aumento dell'anidride carbonica in atmosfera e diminuzione dell'humus del suolo. Il contenuto di sostanza organica nei suoli: < 1% nei suoli desertici; 1% - 15% in suoli forestali; > 90% nelle torbe.

**Composizione chimica-elementare** - La composizione chimica elementare dell'humus è nella media costituita dal 55% di carbonio, 36% di ossigeno, 5% di azoto e 4% di idrogeno, ed è perciò caratterizzato da un rapporto fra carbonio e azoto pari a 10 ed in peso il carbonio rappresenta il 50%.

**L'erosione.** Lo sfaldamento degli aggregati e il ruscellamento in seguito a violente piogge portano alla perdita degli strati superficiali più ricchi in materiale nutritivo causando l'impovertimento del suolo, fenomeni di eutrofizzazione e interramento di canali e fiumi (fenomeno più evidente nei climi aridi e nei suoli destrutturati). L'asportazione della sostanza organica tende ad aggravare il fenomeno provocando un progressivo aumento della predisposizione del suolo all'erosione.

**Sequestro del carbonio.** L'orientamento verso l'accumulo o verso la mineralizzazione della sostanza organica dipende da un delicato equilibrio che può essere preservato soltanto se l'intervento dell'uomo tiene conto di tutti i fattori che concorrono ai due processi. Quindi capire che cos'è la sostanza organica del suolo, da dove deriva, come si trasforma e come si conserva deve essere la base per una gestione sostenibile che miri alla difesa del suolo e alla salvaguardia del territorio.

**Perdite di humus** - I primi 30 cm di un terreno mediamente pesano 4.000 tonnellate ad ettaro, considerando il 2% di humus si hanno 80 tonnellate che con una mineralizzazione del 2% annuo danno 1,6 t pari a 0,8 t di carbonio che torna nell'atmosfera sotto forma di CO<sub>2</sub>, pertanto in mancanza di apporti di sostanza organica il contenuto si dimezza ogni 35 anni. L'humus che risulta più stabile, a parità delle altre condizioni, è quello che deriva da vegetali con alto contenuto di lignina

**L'indice di mineralizzazione** può essere molto più elevato se si praticano tecniche agricole scorrette quali le lavorazioni eccessivamente profonde e o troppo frequenti, si lascia privo di vegetazione, specie nei mesi più caldi, il terreno, se si bruciano i residui colturali ecc, fino ad arrivare alla scomparsa in pochi anni dell'humus, come avviene nei processi di desertificazione o di laterizzazione.

**Humus nel suolo** - Come già evidenziato, oltre a creare e mantenere la struttura del terreno, rendere solubili i sali e liberare tramite la propria mineralizzazione l'azoto, l'humus grazie alla sua densità molto inferiore (al 2% in peso occupa il 6-8% in volume) permette il passaggio ed il ricambio dell'aria nel terreno, fondamentale sia per le radici che per gli organismi aerobici. La sua natura colloidale consente inoltre di trattenere grandi quantità d'acqua ostacolando l'erosione e rilasciandola poi gradualmente alle colture. Agisce come un serbatoio-volano dell'acqua nel terreno, funzione che diventerà sempre più indispensabile vista l'accentuata variabilità delle precipitazioni in seguito all'effetto serra

## 2. Tecniche di studio delle sostanze umiche

La combinazione di una serie di tecniche analitiche convenzionali, quali estrazioni selettive, Ultra-filtrazione su membrane ad esclusione molecolare (UF), Isoelettro-focalizzazione (IEF), e tecniche avanzate di analisi chimico-strutturale, quali la Pirolisi-gascromatografia-spettroscopia di massa (Py-GC-MS), ha permesso di tracciare una sorta di "impronta digitale" delle sostanze umiche e dei complessi humo-enzimatici in vari ecosistemi (Ceccanti e Masciandaro, 2003). L'impiego di tecniche analitiche combinate è motivata dal fatto che l'humus è fortemente legato ai colloid minerali e associato ad altri componenti organici e minerali del terreno; la sua estrazione viene effettuata con l'ausilio di estraenti fisicamente forti ma chimicamente inerti, in modo da preservare la struttura, conformazione e bioattività dei geopolimeri estratti (Ceccanti et al 1980; 1983).

La presenza e l'attività del complesso umo-enzimatico vengono valutate mediante la tecnica della Pirolisi-Gas Cromatografia, che permette di determinare le caratteristiche chimico-strutturali della sostanza organica, e mediante opportuni test enzimatici, che misurano l'attività biochimica associata alle sostanze umiche. L'isolamento e la purificazione delle frazioni umo-enzimatiche da tutto il pool di sostanza umica estratta, avvengono mediante la tecnica preparativa di Focalizzazione Isoelettrica (IEF) su gel di poliacrilamide (Fig. 2). Tali complessi sono sempre presenti nel terreno anche in condizioni di aridità e desertificazione. Potrebbero veramente rappresentare l'ultima barriera biologica di difesa dalla desertificazione come era stato ipotizzato da Ceccanti e Masciandaro (2003) e poi confermato dal progetto EU-INDEX (2004-2007). I complessi umo-enzimatici e gli enzimi liberi possono essere visti direttamente *in-situ* con le tecniche di ultramicroscopia elettronica dopo reazione istochimica e immuno-marcatore con radionuclidi (Ladd et al., 1996).

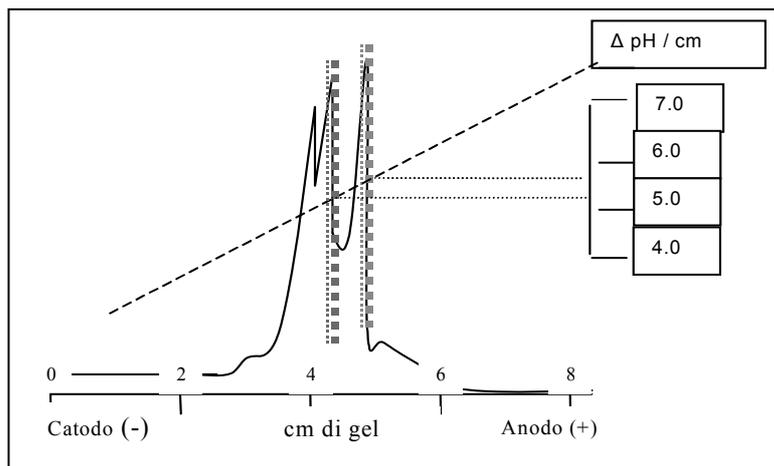


Fig. 2 - Isolamento dei complessi umo-enzimatici del suolo mediante IEF (tratteggiati)

### 3. Casi di studio

La metodologia di studio messa a punto da CNR-ISE in collaborazione con ricercatori spagnoli del CSIC (Consejo Superior de Investigaciones Cientificas) include parametri fisici, pedologici, biologici, biochimici e chimico-strutturali, che opportunamente elaborati, forniscono lo stato di degradazione fisico-biologica e la dinamica dei principali processi coinvolti. La metodologia di studio, che è stata sviluppata su mesocosmi di laboratorio, ha trovato riscontro e applicazione anche in situazioni reali di campo, mostrando una buona relazione tra parametri misurati a diverse scale di grandezza (micro-meso-macro). Le migliori informazioni sull'efficacia delle pratiche di gestione si ottengono valutando quei parametri che meglio riflettono processi a "lungo-termine", quali l'umificazione e la biosintesi di strutture umo-enzimatiche, che conferiscono stabilità fisica all'ecosistema suolo, aerazione e ritenzione idrica, e garantiscono la vita per la micro- e meso-fauna anche in situazioni climatiche estreme.

#### 3.1 Suoli aridi

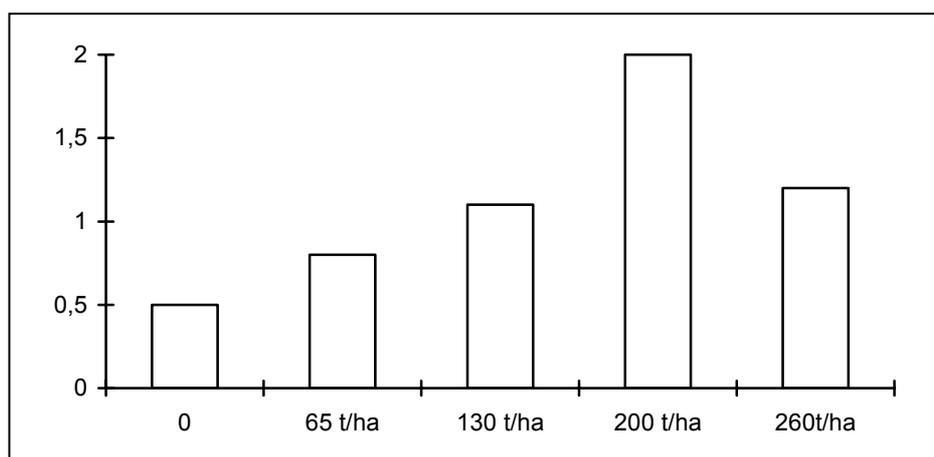
Questa ricerca è iniziata nel 1990 e tutt'oggi continua ad interessare il mondo scientifico e la comunità rurale della regione di Murcia, sud-est della Spagna. Un suolo pre-desertico (limo-sabbioso), non produttivo, situato in clima semi-arido (pioggia < 400 mm/anno), senza vegetazione spontanea, fu trattato con dosi crescenti di sostanza organica selezionata da cumuli freschi di residui solidi urbani (MSW), la cui composizione era: 45% di acqua, 55% sostanza secca, di cui 22.4% di cenere (incenerimento a 600°C), 32.6% di sostanza organica; pH 6.5; conducibilità elettrica 4.2 mS/cm. Le dosi di MSW aggiunte furono: 0 (terreno di controllo), 65, 130, 200, 260 t ha<sup>-1</sup>, che corrispondevano ad un apporto organico al terreno di 0, 0.5, 1.0, 1.5, 2.0%. Dopo due anni dai trattamenti, furono eseguite analisi chimico-agrarie e furono determinati alcuni indici biologici funzionali del terreno (Fig. 3).

I trattamenti avevano causato lo sviluppo di una copertura vegetale spontanea e persistente anche in quelle situazioni climatiche. La copertura vegetale fornisce energia biochimica attraverso gli essudati radicali di cui una parte viene conservata sotto forma di complessi umo-enzimatici che persistono attivi per decine-centinaia, forse migliaia di anni. Tali complessi persistono attivi perché dotati di una particolare struttura molecolare che si può analizzare mediante la tecnica della Pirolisi-gas cromatografia (Py-GC) (Ceccanti et al., 1986). La tecnica, che può essere applicata a campioni di terreno o ad estratti organici, scompone in ambiente controllato ad alta temperatura (700-800 °C), le sostanze organiche complesse dando luogo a frammenti molecolari volatili che vengono analizzati in-linea con un gas cromatografo. Con una particolare elaborazione delle abbondanze relative dei frammenti volatili più significativi (quelli provenienti soprattutto da strutture molecolari abbondanti nel terreno: cellulose, lignine, sostanza umica, proteine, ecc) si possono calcolare indici di mineralizzazione e di umificazione, e quindi i diversi stati evolutivi della sostanza organica nel tempo, in funzione delle pressioni esterne.

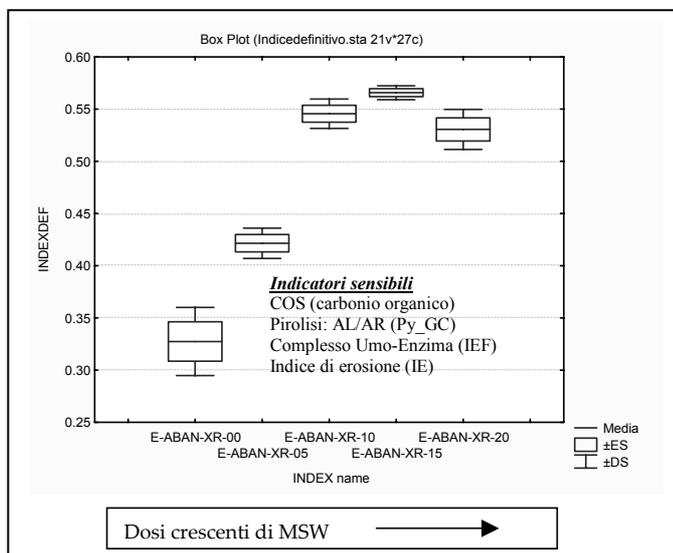
I parametri analizzati sono stati scelti perché sono generalmente correlati fra loro e sono indicatori di una catena di processi interattivi e simultanei nel terreno, quali la mineralizzazione della sostanza organica, l'umificazione, il ciclo di nutrienti, l'attività radicale, la struttura e l'attività della biomassa microbica della rizosfera, come spiegato in sintesi di seguito.

1. WSC (carbonio idrosolubile che rappresenta una fonte disponibile di carbonio per le biomasse microbiche)
2. *Attività enzimatica idrolitica* (idrolasi, coinvolte nella trasformazione dei substrati organici solubili contenenti carbonio, azoto, fosforo, zolfo)
3. *Attività enzimatica extracellulare* (enzimi associati a molecole umiche persistenti: per il loro studio è necessaria l'estrazione)
4. *Conducibilità elettrica (CE)*: mS/cm che rappresenta la salinità)
5. *Biomassa vegetale* (attività della rizosfera, rilascio di fonti di carbonio degradabile: essudati radicali)
6. *Nutrienti minerali (N, P, K)* liberati in seguito alla mineralizzazione della sostanza organica
7. *Biodiversità microbica* (numero e struttura della biomassa microbica)
8. *Indici di mineralizzazione e umificazione della sostanza organica* (turnover e grado di condensazione molecolare delle sostanze umiche misurate con la tecnica della Pirolisi-gascromatografia, Py-GC)

Nelle figure 3 e 4 sono riportati gli effetti del trattamento organico con MSW, che ha prodotto un aumento nei valori dei parametri sopra descritti. Tutti i parametri indicatori studiati concordano nell'assegnare un valore ottimale alla dose di 200 ton/ha di MSW.



**Fig 3** - Andamento dei parametri convenzionali sopra descritti, in funzione dei trattamenti organici (1992)



**Fig. 4** - Analisi statistica in PCA (componenti principali), usando indicatori sensibili (2004)

L'analisi del terreno eseguita nel 1992 (due anni dopo trattamento) con un set di parametri agrochimici convenzionali e non convenzionali sopra descritti, mostra lo stesso andamento rilevato nel 2004 nell'ambito del progetto Eu-Strep - IDEX, mediante parametri indicatori sensibili di tipo biochimico (complesso umo-enzima, biologico (COS), chimico-strutturale (pirolisi) e fisico (indice di erosione). Un unico trattamento nel 1990 ha prodotto un effetto di cui ancora oggi si rilevano gli "echi". La dose ottimale sembra essere 200t/ha; è curioso notare come tale andamento si ripete esattamente dopo 14 anni dal trattamento.

### 3.2 Stress da monocoltura

Sono state condotte ricerche su due suoli appartenenti a due diversi ambienti pedoclimatici e tessiturali: 1) terreno Peccioli, sabbia-limo, clima temperato-umido mediterraneo, precipitazioni > 800 mm/anno, località Poggio al Pino - nord-ovest Toscana; 2) terreno Salamanca, limo-argilla, clima semi-continentale, forti escursioni termiche, precipitazioni < 400 mm/anno, situato a Salamanca, centro-ovest Spagna. In ciascun ecosistema sono stati scelti tre tipi d'uso del suolo: 1) non coltivato, prato permanente, 2) monocoltura intensiva, con abbondante uso di fertilizzante minerale e erbicida (NPK 30-15-15), seguito da cicli di due anni di messa a riposo e vegetazione spontanea (set-aside); 3) monocolture intensive come al punto 2, senza riposo (coltivazione permanente).

In ambedue gli ecosistemi, i parametri biochimici e microbiologici misurati direttamente su campioni di terreno sono:

- attività enzimatiche del gruppo delle idrolisi (ureasi, fosfatasi, protasi, glucosidasi) che attivano i cicli degli elementi C, N, P;

- attività microbica determinata mediante saggi dell'enzima deidrogenasi
- nutrienti minerali (NPK)
- C-N totali
- Carbonio idrosolubile

I parametri agronomici e funzionali dei terreni diminuiscono nell'ordine: non coltivato > set-aside > coltura intensiva. Questo dimostra che i sistemi di coltivazione intensivi causano un danno irreversibile alla biologia e alla produttività dei terreni.

La figura 6 riporta l'indice pirolitico di umificazione IH, potenziale metabolico (PM) e attività enzimatica specifica (AES), determinati negli estratti umici dei terreni Peccioli e Salamanca.

IH è dato dal rapporto fra due frammenti gassosi (benzene/toluene), prodotti dal flash pirolitico dei composti umici a 700°C, in atmosfera di gas inerte (azoto).

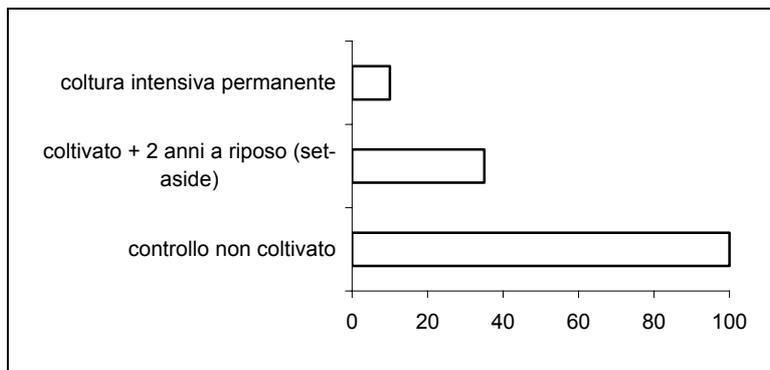


Fig. 5 - Andamento dei parametri biochimici e microbiologici del terreno

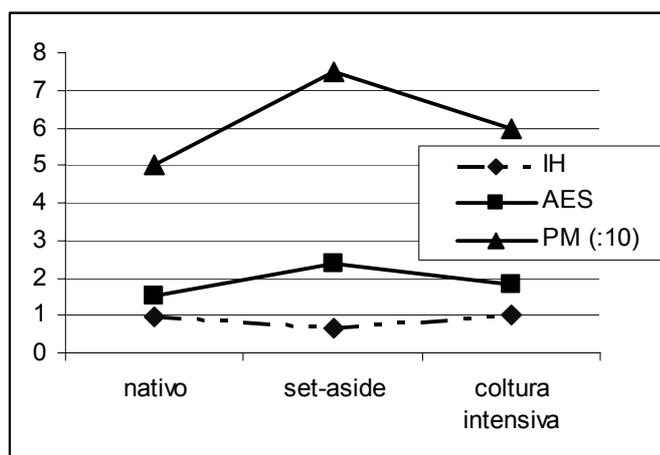


Fig. 6 - Andamento dei parametri analitici nei suoli in diverse forme d'uso (dati medi di tre repliche, per i due ecosistemi)

In Pirolisi, le molecole aromatiche condensate, con un basso contenuto di catene alifatiche (molto umificate), producono preferenzialmente benzene, mentre le molecole meno condensate (poco umificate) con catene alifatiche lineari, producono un benzeno-derivato (toluene). Pertanto il loro rapporto esprime il carattere unico della sostanza organica o il grado di condensazione aromatica.

AES rappresenta l'attività enzimatica riferita all'unità di peso di carbonio.

Come è evidente dalla figura 6, la situazione di set-aside comporta un più elevato valore degli indici legati al metabolismo basale del terreno, cioè alle attività enzimatiche specifiche (AES) e al potenziale metabolico PM. Il metabolismo accelerato e il maggior consumo di sostanza organica nella situazione a set-aside potrebbero attaccare anche le strutture umiche recalcitranti e stabili.

#### 4. Conclusioni

I dati dei casi di studio qui presentati dimostrano che il suolo è resiliente e tende a contrapporsi alle perturbazioni e alle pressioni esterne naturali o antropiche.

*Suoli aridi:* Il suolo arido in stato predesertico ha risposto alle pratiche di recupero bio-agronomico con sostanza organica, in virtù del fatto che era molto degradato ma non "azzerato" completamente nella sue proprietà fisiche, microbiologiche e biochimiche. La copertura vegetale instauratasi spontaneamente ha favorito la lenta ma continua produzione di zuccheri e nutrienti in zona radice (rizosfera), mantenendo il terreno in uno stato metabolico attivo, sufficiente a riequilibrare il ciclo del carbonio, come dimostrano i dati biochimici e chimico-strutturali.

*Stress da monocoltura:* L'interruzione della coltivazione intensiva riporta il terreno ad un livello metabolico superiore, come dimostrano i parametri biochimici, agro-biologici e strutturali. Tuttavia, la pratica del set-aside, se non controllata con indicatori opportuni, potrebbe portare sicuramente alla degradazione lenta della riserva di humus stabile.

#### Bibliografia

- Balloi A. (2005). *Suolo: Biodiversità microbica e funzionalità biochimica*, CESAB-Workshop "Biodiversità Rurale", 21-23 luglio, 2005, Castelfalfi - Firenze. <http://www.area.pi.cnr.it/ICT/castelfalfi/Castelfalfi.html>
- Bastida F., Moreno J.L., Hernandez T., Garcia C. (2006). *Microbiological degradation index of soil in semiarid climate*. *Soil Biology and Biochemistry*, 38, 3463-3473
- Brusetti L., Daffonchio D. (2005). *Strumenti molecolari cultura-indipendenti per tracciare comunità microbiche complesse nel suolo*. CESAB-Workshop "Biodiversità Rurale", Castelfalfi 21-23 luglio, Firenze. <http://www.area.pi.cnr.it/ICT/castelfalfi/Castelfalfi.html>
- Calvo-Bado L., Wellington E. (2007) *Studies of enzyme diversity in situ in soil*. (invited speaker) The Third International Conference - Enzyme in the Environment: activity, ecology, application. Viterbo 15-19 July 2007
- Ceccanti B., Nannipieri P., Sequi P. (1978). *Fractionation of humus urease complexes*. *Soil Biol. Biochem.* 10, 39-45.
- Ceccanti B., Bertolucci M.T., Nannipieri P. (1980) *Characterization of soil organic matter and derivative fractions by isoelectric focusing*. A. Frigerio e M. McCamish (Editors) "Recent developments in chromatography and electrophoresis", Elsevier Science Publications, Olanda, 10: 75-81

- Ceccanti B., Bertolucci M.T., Rustighi G. (1983). *Isoelectric focusing: un metodo efficace per la caratterizzazione dell'umus del terreno*. L'Agricoltura Italiana, 111: 179-195
- Ceccanti B., Alcaniz J.M., Gispert M., Gassiot M., (1986). *Characterization of organic matter from two different soils by pyrolysis-gas chromatography and isoelectric focusing*. Soil Sci. 150, 763-770.
- Ceccanti B., Bertolucci M.T., Rustighi, G. Calcinai, M. (1986). *Isoelectric focusing of soil humic substances in the presence of 8M urea*. Biol. Fert. Soils 2, 71-75
- Ceccanti B. e Masciandaro G. (2003). *Stable humus-enzyme nucleus: the last barrier against soil desertification*. In: M.C. Lobo & J.J. Ibanez (eds) Preserving soil quality and soil biodiversity- The role of surrogate indicators pp. 77-82. CSIC-IMIA, Madrid.
- Ceccanti B., Balloi A., Masciandaro G. (2007) *Esperienze di gestione dei suoli fragili*. In: G. Quaranta (ed). Sviluppo e Montagna - Le politiche, la governance e il management per la valorizzazione delle risorse. Castelsaraceno (Potenza): 4-5 Ottobre 2006 (in stampa)
- Ceccanti B., Doni S., Macci C., Masciandaro G. (2007). *Biochemical properties of stable humic-enzyme complexes isolated from different agro-ecosystems through analytical isoelectric focussing technique (IEF) (poster)*. The Third International Conference - Enzyme in the Environment: activity, ecology, application. Viterbo 15-19 July 2007
- Kimber R.W.L., Nannipieri P., Ceccanti B. (1988). *The degree of racemization of amino acids released by hydrolysis of humic-protein complexes: implication for age assessment*. Soil Biol. Biochem. 2, 181-185.
- Klein D.A., Sørensen D. L., Redente E.F. (1985). *Soil enzymes: a predictor of reclamation potential and progress*. In: Tate, R.L., Klein, D.L. (Eds.). Soil reclamation processes: microbiological analyses and applications. Marcel Dekker Inc., New York and Basel, pp. 141-171.
- Ladd J. N., Foster R. C., Nannipieri P., Oades M. J. (1996). *Soil structure and biological activity*. In: Bollag, J.M., Stotzky, G. (Eds). Soil Biochemistry. Marcel Dekker New York, 9, 23 - 77.
- Lal R. (1994). *Sustainable land use systems and soil resilience*. In: Greenland, D.J., Szabolcs, I. (Eds.). Soil resilience and sustainable land use, CAB International Wallingford, Oxon OX10 8DE, UK.
- Masciandaro G., Ceccanti B., Gallardo-Lancho J.F. (1998). *Organic matter properties in cultivated versus set-aside arable soils*. Agric. Ecosys. Environ. 67, 267 - 274.
- Masciandaro G., Ceccanti B. (1999). *Assessing soil quality in different agro-ecosystems through biochemical and chemical structural properties of humic substances*. Soil Tillage Research 51, 129-137
- Masciandaro G., Ceccanti B (2005) *Miglioramento della biofertilità del suolo tramite la tradizione e l'innovazione*. Sessione 2: Conoscenze tradizionali. Viterbo 3-5 Ottobre
- Masciandaro G., Macci C., Doni S., Ceccanti B., Calvo-Bado L.A., Wellington E. (2007) *Assessment of free and humic-bound  $\beta$ -glucosidase activity in natural and re-constructed forest soils through selective extractants* (poster) The Third International Conference - Enzyme in the Environment: activity, ecology, application. Viterbo 15-19 July 2007
- Nannipieri P., Ceccanti B., Conti C., Bianchi D., (1982). *Hydrolases extracted from soil: Their properties and activities*. Soil Biology and Biochemistry, 14: 257-263
- Progetto Europeo Strep INDEX 2004-2007- *Indicators and Thresholds for Desertification, Soil Quality, and Remediation* GOCE-CT-2003-505450 <http://www.soil-index.com>
- Trasar-Cepeda M.C., Ceccanti B., Leiros M.C., Calcinai M., Gil-Sotres F. (1994). *Characterization of organic matter in lignite minesoils at various ages by pyrolysis/gas chromatography*. In: Senesi, N., Miano, T. M. (Eds.) Humic Substances in the Global Environment and Implication on Human Health. Elsevier, 707-712.

## 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
	> 150	2
Esposizione	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.

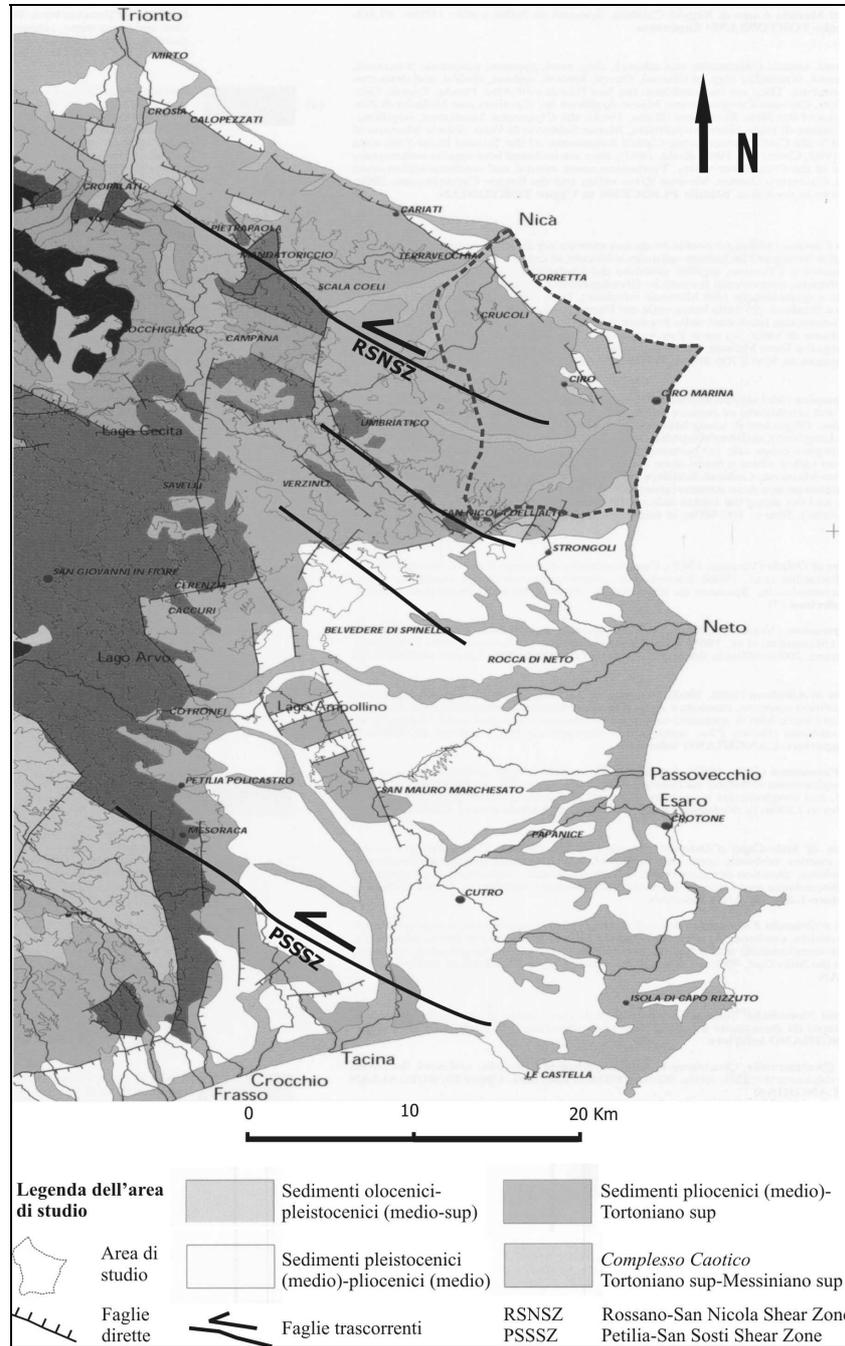
Da un punto di vista geologico-strutturale, l'area ricade nella parte più settentrionale della parte emersa del "Bacino di Crotona" (Fig. 1), delimitato ad Ovest dalle pendici orientali della Sila, a Nord e a Sud rispettivamente dalle faglie trascorrenti "Rossano-San Nicola", attiva certamente dal Pliocene 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

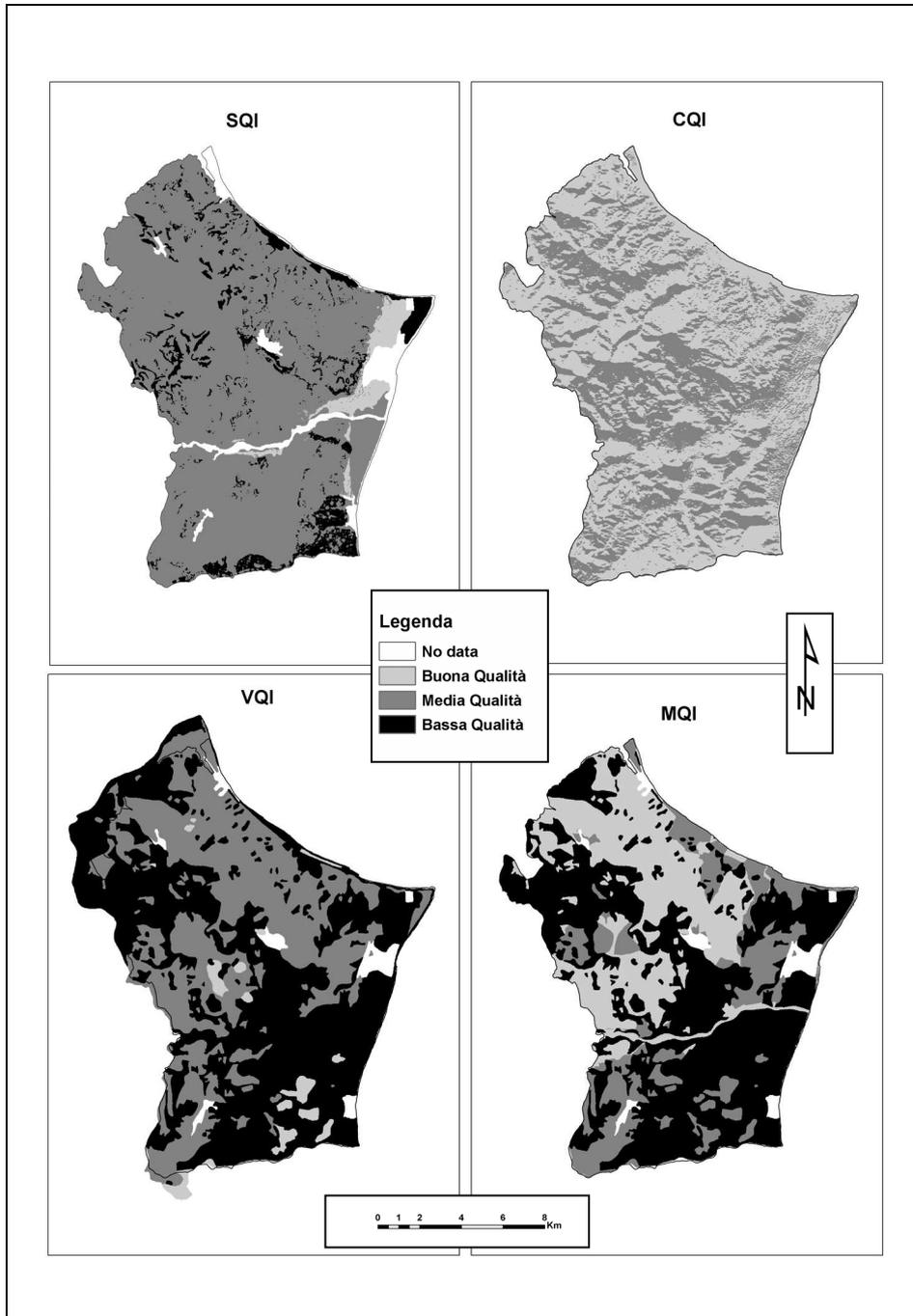


Fig. 2 - Mappe relative agli Indici di Qualità calcolati per l'area di studio

Classe	Estensione (km <sup>2</sup> )	Percentuale (%)	Sottoclasse	Intervalli	Estensione (km <sup>2</sup> )	Percentuale (%)
<b>Non affetta</b>	20.80	11.02	N	<1.18	20.80	11.02
<b>Potenziale</b>	38.59	20.44	P	1.18-1.23	38.59	20.44
<b>Fragile</b>	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
<b>Critica</b>	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

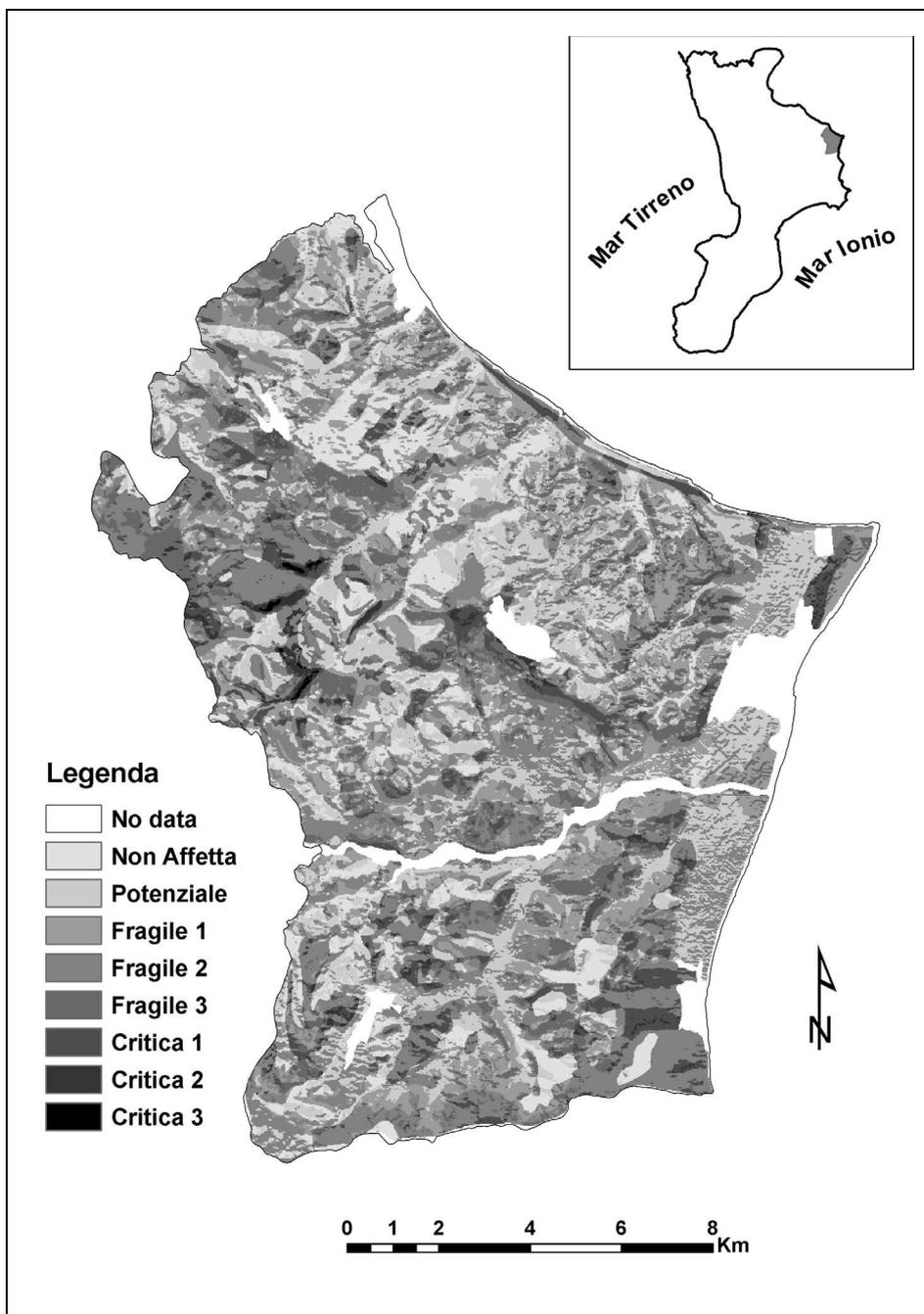
**Tab. 5** - Classi ed estensioni relativi all'Indice di Sensibilità Ambientale alla Desertificazione ESAPI calcolato per l'area di studio tenendo in considerazione esclusivamente le componenti fisiche territoriali

Classe	Estensione (km <sup>2</sup> )	Percentuale (%)	Sottoclasse	Intervalli	Estensione (km <sup>2</sup> )	Percentuale (%)
<b>Non affetta</b>	2.60	1.38	N	<1.17	2.60	1.38
<b>Potenziale</b>	25.22	13.37	P	1.17-1.22	25.22	13.37
<b>Fragile</b>	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
<b>Critica</b>	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)*

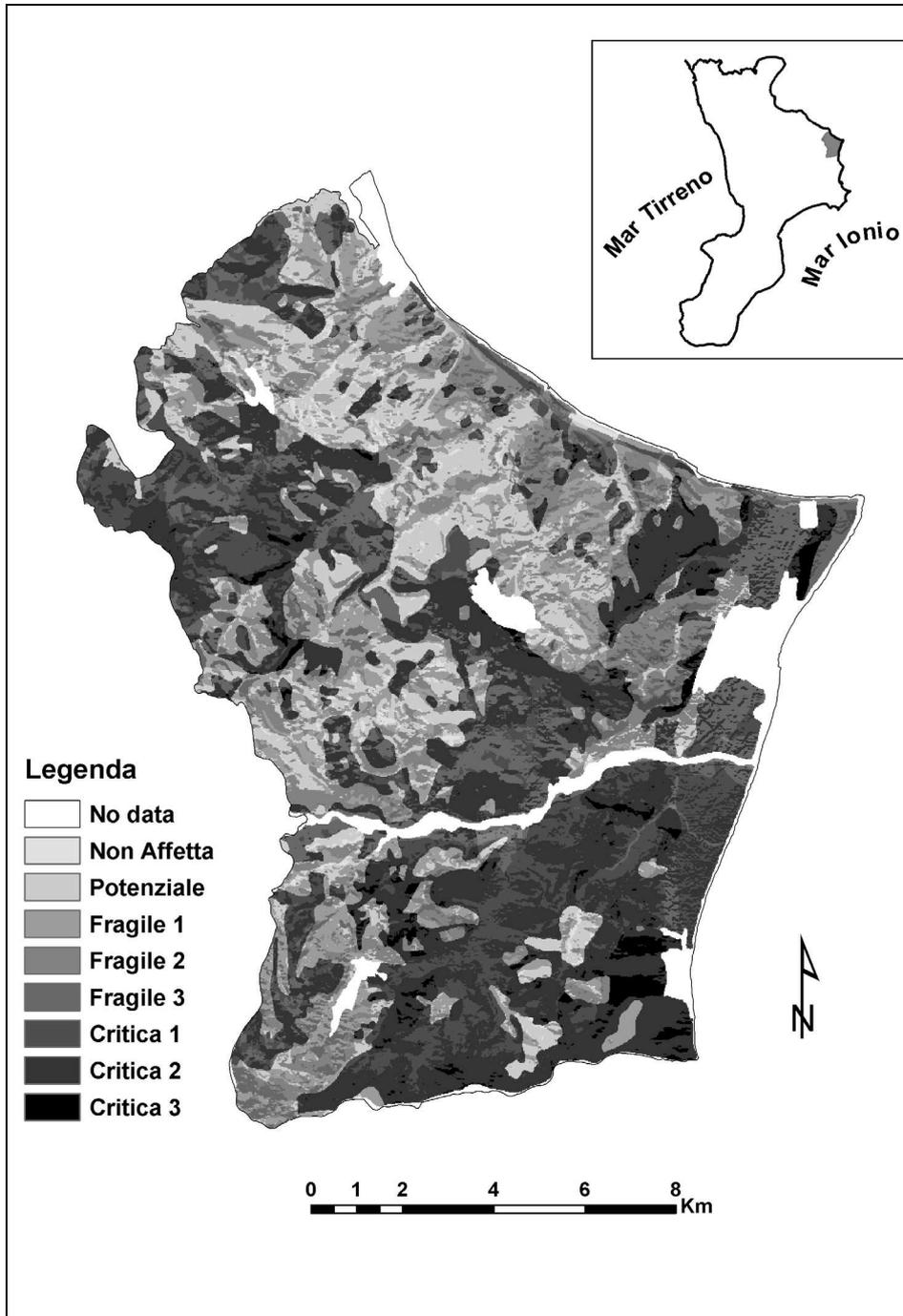


Fig. 4 – Mappa dell'Indice di Sensibilità Ambientale alla Desertificazione ESAI

**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>.

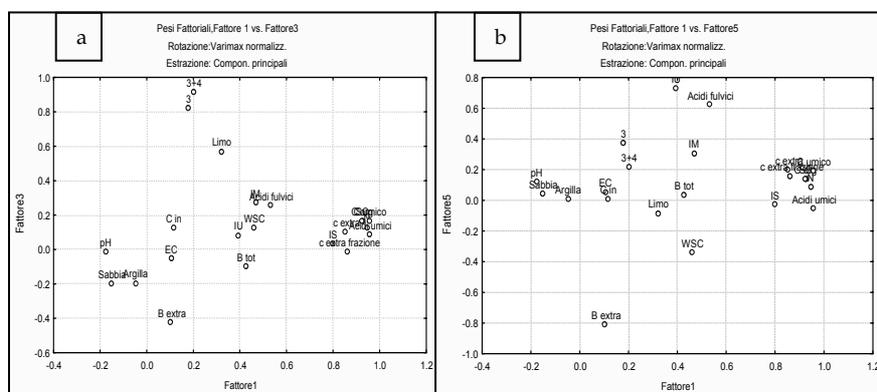
Quindi è stata effettuata l'analisi dei fattori mediante la tecnica delle componenti principali per l'estrazione dei fattori comuni. Attraverso di essa sono stati estratti cinque fattori per una varianza spiegata pari all'80,5% (autovalori: 9.39621, 3.22064, 2.62703, 1.93993, 1.08572).

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

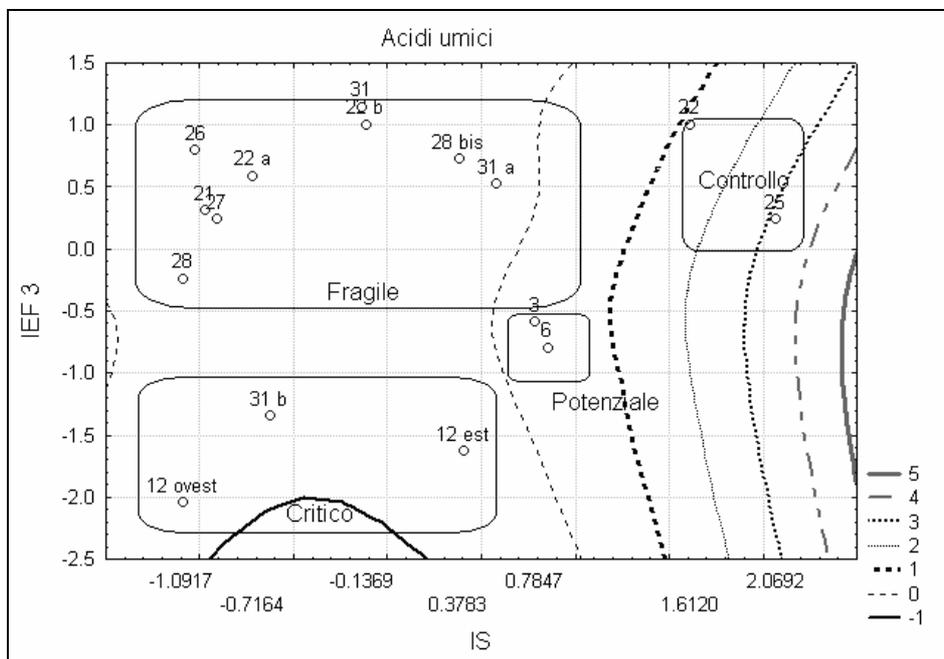


Fig. 6 – Pesi fattoriali con rapporto tra il fattore 1 e il fattore 3

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 uomo-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](http://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.

# UTILIZZO DELL'ANALISI FATTORIALE NELLA COSTRUZIONE DI UN INDICATORE COMPOSTO PER LO STUDIO DELLA DESERTIFICAZIONE

*Employing factor analysis to construct a composite indicator  
for studying desertification*

M. Cordasco<sup>1</sup>, R. Coscarelli<sup>1</sup>, G. Martirano<sup>2</sup>

---

## Sommario

---

I fenomeni di desertificazione sono misurati quantitativamente attraverso l'utilizzo di indicatori composti. Il presente lavoro ha come principale obiettivo quello di definire un indice composto per lo studio della desertificazione attraverso una metodologia basata su tecniche statistiche. Mediante un'analisi di tipo fattoriale, infatti, è possibile valutare le correlazioni esistenti tra 15 parametri utilizzati per lo studio della desertificazione e definire dei nuovi indicatori che tengano conto del contenuto informativo dei parametri di partenza. Gli indicatori ottenuti sono stati poi aggregati in nuovo indicatore composto della desertificazione. I dati utilizzati ed il calcolo degli indicatori fanno riferimento ad un'area del crotonese particolarmente a rischio di desertificazione. I risultati ottenuti dall'applicazione della nuova metodologia sono stati anche confrontati con i risultati dell'Environmentally Sensitive Areas Index (ESAI) della metodologia ESAs.

---

## Summary

---

Desertification phenomena are measured through the use of composite indicators. The principal objective of the present paper is to define a composite index for studying desertification through a methodology based on statistic techniques. By means of a factor analysis, indeed, it is possible to calculate the existing correlations among 15 desertification parameters and to define new sub-indicators with information contents of the original parameters. The obtained sub-indicators are aggregated in a new desertification composite index. The used data and the calculation of the indicators are referred to an area of the province of Crotonese severely affected by desertification risk. Finally, the new methodology application results are compared with the Environmentally Sensitive Areas Index (ESAI) results of the ESAs methodology.

---

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

<sup>2</sup> EPSILON Italia srl

## 1. Introduzione

Diversi fenomeni osservabili in natura risultano essere molto complessi e, per essere descritti e valutati, necessitano di un numero elevato di variabili. In casi del genere, definiti multivariati o multidimensionali, si ha la necessità di utilizzare un numero ridotto di indicatori sintetici che semplificano il problema, pur mantenendo il più possibile la corrispondenza con la complessità dell'insieme dei dati originari.

Tra i diversi metodi applicabili, le analisi fattoriali sono tra le più complete ed efficaci. Esse, infatti, si avvalgono di una serie di tecniche multivariate che permettono di ridurre il numero di variabili correlate attraverso l'individuazione di un numero inferiore di fattori capaci di rappresentare le correlazioni esistenti. Alla base vi è dunque un processo in grado di abbattere la complessità reale per mezzo di pochi fattori, opportunamente identificati.

Tra le tecniche esplorative con cui effettuare una analisi dei fattori, l'analisi delle componenti principali è la metodologia più completa e diffusa. Essa è un metodo di tipo descrittivo che genera indicatori globali e sintetici, coincidenti con i fattori comuni individuati. Il vantaggio principale è che le analisi di questo tipo vengono condotte su considerazioni puramente statistiche, cioè si presuppone che l'investigatore non conosca affatto come le variabili analizzate siano tra loro legate.

Nel presente lavoro l'analisi fattoriale è stata utilizzata per valutare il grado di correlazione tra i diversi parametri della desertificazione definiti dalla metodologia ESAs e per individuare un nuovo indice composto della desertificazione. L'analisi condotta, puramente esplorativa, permette di definire un nuovo metodo basato su osservazioni statistiche. L'obiettivo è quello di individuare un nuovo indice in grado di adattarsi a condizioni di scala diverse da quelle per cui è stato definito l'Environmentally Sensitive Areas Index (ESAI), servendosi del contenuto informativo dei dati disponibili. La nuova metodologia è stata applicata ad un caso di studio che coincide con un'area della provincia di Crotone, di estensione pari a circa 170 km<sup>2</sup>, scelta come area di studio del progetto "ISPARIDE".

## 2. Applicazioni dell'analisi fattoriale a studi di carattere ambientale

Nel campo delle ricerche su tematiche ambientali, le analisi di tipo fattoriale sono largamente utilizzate, soprattutto in termini di componenti principali. Gli esempi presenti in letteratura sono numerosi e i campi di applicazione possono essere anche molto diversi tra loro. Tra gli studi di carattere ambientale di maggiore interesse sono da ricordare quelli che riguardano i cambiamenti di uso del suolo, la diffusione di alcune specie vegetali, le coperture forestali, le delimitazioni di aree ambientali, oltre che le relazioni tra differenti indicatori ambientali.

I cambiamenti di uso del suolo forniscono preziose informazioni sui cambiamenti in atto in ogni territorio. L'utilizzo delle tecniche basate sulle analisi fattoriali in genere si avvale di dati che fanno riferimento a serie temporali. In alcuni casi, per un determinato territorio, è possibile individuare dei modelli specifici di cambiamento di uso del suolo (Mac Leod e Moller, 2006); in altri, è

consentito ridurre le dimensioni dei dataset impiegati (Owen et al., 2006).

Clima, suolo e topografia di un territorio rappresentano i fattori ambientali che maggiormente influenzano direttamente o indirettamente gli ecosistemi, favorendo la copertura di una specie anziché la presenza di un'altra. In questo campo l'utilizzo delle analisi fattoriali permette di individuare i parametri del suolo che hanno maggiore effetto sulla diffusione di alcune specie vegetali (Jafari et al., 2004) oppure consente di stabilire un metodo per il monitoraggio dei cambiamenti osservati nel tempo (Johnson et al., 2000). In ogni caso le analisi statistiche effettuate permettono di valutare quantitativamente i dati misurati nel corso del tempo o in un dato periodo.

Altri esempi di applicazione delle analisi statistiche multivariate si hanno negli studi che riguardano particolari aree ambientali. La valutazione della stagionalità dei parametri fisici, chimici e biologici osservati o la delimitazione delle aree di influenza degli stessi possono essere effettuati con un'analisi delle componenti principali (Brogueira e Cabecadas, 2006).

Nelle ricerche condotte sugli indicatori composti, invece, i metodi basati sulle componenti principali sono quelli maggiormente impiegati quando è necessario definire le relazioni tra diversi indicatori di base. In particolare è possibile riassumere il contenuto informativo in un unico indice capace di supportare ogni attività decisionale attraverso:

- la riduzione della confusione generata dalle molte informazioni raccolte (Alfsen e Saebo, 1993; Callens e Tyteca, 1999);
- una esplicitazione delle informazioni in forma più semplice e sintetica (Jollands et al., 2004);
- una formalizzazione dei processi di aggregazione dei parametri di partenza.

Naturalmente, quando si cerca di riassumere una serie di informazioni possono subentrare degli aspetti negativi:

- la procedura di sintesi può dipendere da assunzioni potenzialmente distorte (Lindsey et al., 1997);
- in sistemi complessi come quelli ambientali è difficile sintetizzare le interrelazioni necessarie (Gustavson et al., 1999);
- le aggregazioni risentono molto delle quantità misurate attraverso le diverse unità di misura.

Negli ultimi anni le analisi fattoriali sono state utilizzate anche per la costruzione degli indici composti, soprattutto per evidenziare le interrelazioni tra i differenti indicatori di base e con l'obiettivo di ridurre il numero di parametri coinvolti. I campi di applicazione sono diversi ma tutti contraddistinti da un elevato numero di variabili utilizzate e dalla necessità di catturare una elevata varianza dei dati di partenza. Generalmente gli studi hanno dimostrato che solamente pochi fattori, sintetizzanti oltre il 60% della varianza totale, sono importanti per rappresentare e capire meglio le relazioni esistenti (Yu et al., 1998).

In tutte le procedure di definizione di un indice composto l'aspetto più delicato è rappresentato dalla scelta dei coefficienti, o pesi, da assegnare ad ogni indicatore di base. Esistono diversi schemi e il dibattito è caratterizzato da diverse opinioni. In questo lavoro la preferenza è ricaduta su un approccio statistico mul-

tivariato e i vantaggi legati a tale scelta consistono nel poter disporre di un metodo oggettivo. Tuttavia, per poter valutare i risultati ottenuti, un approccio di questo tipo è limitato dal dover compiere un'analisi ex post (Jollands et al., 2004).

### 3. Metodologia applicata al caso di studio

Il metodo applicato per l'individuazione di un nuovo indicatore composto della desertificazione ha come obiettivo principale quello di cercare di ridurre i limiti della metodologia ESAs, legati agli aspetti empirici in essa contenuti, utilizzando criteri più oggettivi per la stima di un indicatore complesso finale sul "rischio desertificazione", a partire da dati/parametri ambientali elementari o di base. L'approccio analitico scelto si basa su un'analisi fattoriale mirata ad evidenziare le correlazioni esistenti tra i parametri della desertificazione considerati. Lo scopo è quello di riassumere, semplificandola, l'informazione contenuta nelle relazioni intercorrenti tra i parametri.

La metodologia applicata può essere riassunta nei seguenti punti:

- scelta e analisi dei parametri di partenza;
- applicazione dell'analisi fattoriale per individuare i fattori comuni;
- definizione di nuovi indicatori di base;
- calcolo dei pesi da attribuire agli indicatori di base;
- definizione del nuovo indice composto attraverso l'aggregazione degli indicatori di base.

Le variabili utilizzate nella definizione del nuovo indice coincidono con quelle individuate e definite dal progetto MEDALUS, sia in termini di numero, sia in termini di punteggi attribuiti (Tab. 1).

Parametro ESAs	Nome corrispondente della variabile	Intervallo di punteggio assegnabile
Tessitura	<i>Tessitura</i>	1 ÷ 2
Roccia madre	<i>Rocciosità</i>	1 ÷ 2
Pietrosità superficiale	<i>Pietrosità</i>	1 ÷ 2
Profondità del suolo	<i>Profondità</i>	1 ÷ 4
Condizioni di drenaggio	<i>Drenaggio</i>	1 ÷ 2
Pendenza	<i>Pendenza</i>	1 ÷ 2
Grado di copertura vegetale	<i>Copertura</i>	1 ÷ 2
Rischio incendio	<i>Rischio incendio</i>	1 ÷ 2
Protezione dall'erosione	<i>Erosione</i>	1 ÷ 2
Resistenza alla siccità	<i>Siccità</i>	1 ÷ 2
Precipitazioni	<i>Piogge</i>	1 ÷ 4
Aridità	<i>Aridità</i>	1 ÷ 2
Esposizione	<i>Esposizione</i>	1 ÷ 2
Intensità d'uso del suolo	<i>Uso Suolo</i>	1 ÷ 2
Attuazione delle politiche	<i>Politiche</i>	1 ÷ 2

**Tab. 1** - Parametri e variabili utilizzati nelle analisi (da Kosmas et al., 1999)

In particolare, è stato ritenuto utile mantenere gli stessi punteggi al fine di poter effettuare, in una seconda fase, un confronto tra l'indice composto definito e l'indice ESAI. I punteggi assegnati ai diversi parametri comportano l'indubbio vantaggio di poter operare su valori già normalizzati. Tutte le variabili assumono valori compresi tra 1 e 2, tranne le variabili *Profondità* e *Pioggie* che variano tra 1 e 4, con l'intento di dare evidentemente una importanza maggiore ai due parametri.

### 3.1 Verifica dell'applicabilità dell'analisi fattoriale

In una prima fase è stato necessario analizzare il grado di correlazione esistente tra le diverse variabili e verificare se tutte avessero i requisiti minimi per poter essere sottoposte ad una successiva analisi di tipo fattoriale. La matrice dei dati su cui compiere le prime osservazioni coincide con il database in cui sono state raccolte tutte le informazioni in possesso relative all'area di studio del progetto "ISPARIDE", coincidente con la zona del "CIRÒ DOC" e ricadente nel Crotonese (Coscarelli et al., 2005). Numerosi sono stati i dati utilizzati: 15 sono i parametri di base considerati su un numero totale di circa 477.000 unità statistiche corrispondenti ad altrettante celle di lato 20m x 20m in cui è stato suddiviso il territorio oggetto di studio. In totale è stato utilizzato un contenuto informativo di oltre sette milioni di dati. Il software impiegato per organizzare ed elaborare i dati è SPSS v.13.0.

Il calcolo dei coefficienti di correlazione tra le 15 variabili iniziali ha evidenziato un duplice problema legato alle variabili *Pioggie* e *Aridità*: i punteggi assegnati nell'intera area di studio presentano lo stesso valore per tutte le unità statistiche e quindi comportano una varianza nulla. Di conseguenza, per le successive analisi, si è deciso di non considerare le due variabili perché aventi un contenuto informativo non significativo per l'area di studio. In tabella 2 viene riportata la matrice di correlazione delle rimanenti 13 variabili.

La matrice di correlazione evidenzia come alcune delle 13 variabili siano altamente correlate (*Copertura* e *Rischio Incendio*, oppure *Uso Suolo* e *Siccità*), mentre altre, al contrario, presentino un basso grado di correlazione reciproco (*Drenaggio* con *Pendenza* e *Rischio Incendio*). Si è proceduto poi alla valutazione delle condizioni di applicabilità dell'analisi fattoriale effettuando i test preliminari più comuni e maggiormente indicativi. Il calcolo dell'indice di Kaiser-Meyer-Olkin è risultato pari a 0,613, mentre il test di sfericità di Bartlett ha dato come risultato un alto livello di significatività (0,001) e un valore di Chi-quadro molto elevato. Il risultato di questi test confermano la possibilità di procedere ad una successiva analisi dei fattori.

### 3.2 Estrazione dei fattori comuni

L'analisi fattoriale, per l'estrazione dei fattori comuni, si è avvalsa della tecnica delle componenti principali (Bryant e Yarnold, 1995). Per il caso di studio la decisione di utilizzare la tecnica delle componenti principali assicura la massima rappresentabilità della percentuale di varianza da parte dei fattori e, quindi, della parte di contenuto informativo associata al singolo fattore.

	uso suolo	politiche	pendenza	drenaggio	tessitura	rocciosità	pietrosità	profondità	rischio incendio	erosione	siccità	copertura	esposizione
uso suolo	1,000	0,171	-0,126	0,278	-0,200	-0,071	0,179	-0,294	-0,245	0,645	0,759	0,556	0,006
politiche	0,171	1,000	-0,159	0,215	-0,024	-0,130	0,104	-0,019	-0,235	0,135	0,099	0,202	-0,036
pendenza	-0,126	-0,159	1,000	0,034	0,155	0,140	-0,367	0,148	0,387	-0,292	-0,064	-0,325	0,060
drenaggio	0,278	0,215	0,034	1,000	-0,092	-0,117	-0,098	-0,024	0,001	-0,060	0,272	0,144	-0,045
tessitura	-0,200	-0,024	0,155	-0,092	1,000	0,682	-0,486	0,625	0,230	-0,163	-0,135	-0,196	-0,053
rocciosità	-0,071	-0,130	0,140	-0,117	0,682	1,000	-0,246	0,338	0,166	-0,040	-0,066	-0,148	0,023
pietrosità	0,179	0,104	-0,367	-0,098	-0,486	-0,246	1,000	-0,573	-0,381	0,251	0,141	0,349	-0,018
profondità	-0,294	-0,019	0,148	-0,024	0,625	0,338	-0,573	1,000	0,178	-0,268	-0,198	-0,202	-0,041
rischio incendio	-0,245	-0,235	0,387	0,000	0,230	0,166	-0,381	0,178	1,000	-0,414	-0,173	-0,808	-0,037
erosione	0,645	0,135	-0,292	-0,060	-0,163	-0,040	0,251	-0,268	-0,414	1,000	0,473	0,446	-0,028
siccità	0,759	0,099	-0,064	0,272	-0,135	-0,066	0,141	-0,198	-0,173	0,473	1,000	0,632	-0,038
copertura	0,556	0,202	-0,325	0,144	-0,196	-0,148	0,349	-0,202	-0,808	0,446	0,632	1,000	0,005
esposizione	0,006	-0,036	0,060	-0,045	-0,053	0,023	-0,018	-0,041	-0,037	-0,028	-0,038	0,005	1,000

Tab. 2 - Matrice di correlazione delle 13 variabili analizzate

La tabella delle comunalità associate ad ogni variabile (Tab. 3) permette di valutare quanto le variabili siano rappresentate dalla soluzione dell'analisi; nel caso specifico è possibile osservare come tutte le variabili presentino buoni valori. Successivamente, adottando come metodo di estrazione il criterio degli autovalori, o di Kaiser, i fattori estratti sono stati 5, con una percentuale di varianza spiegata complessiva del 73,81% (Tab. 3).

Variabili	Comunalità		Componenti ed autovalori associati		
	Dopo l'estrazione	Componente	Autovalore		
			valore	% di varianza	% cumulata
uso suolo	0,858	1	3,959	30,451	30,451
politiche	0,570	2	1,969	15,149	45,600
pendenza	0,548	3	1,443	11,098	56,698
drenaggio	0,705	4	1,208	9,293	65,991
tessitura	0,847	5	1,017	7,821	73,811
rocciosità	0,677	6	0,802	6,165	79,977
pietrosità	0,651	7	0,706	5,430	85,406
profondità	0,710	8	0,672	5,173	90,579
rischio incendio	0,793	9	0,467	3,593	94,172
erosione	0,662	10	0,319	2,454	96,626
siccità	0,820	11	0,217	1,671	98,298
copertura	0,811	12	0,183	1,410	99,707
esposizione	0,942	13	0,038	0,293	100,000

Tab. 3 - Comunalità delle 13 variabili e autovalori associati a ciascuna variabile

Il coefficiente di correlazione tra un fattore e una variabile è chiamato *factor loading* o *saturazione*; quanto più il valore del coefficiente è elevato, tanto più la variabile può considerarsi determinante per quel fattore.

La matrice dei pesi fattoriali ottenuta, rappresentata in tabella 4, mostra come ogni variabile saturi con grado differente una o più componenti: la prima componente, ad esempio, viene saturata da tutte le variabili ad eccezione delle variabili *Politiche*, *Drenaggio* ed *Esposizione*, mentre la quinta componente è saturata quasi completamente dalla sola variabile *Esposizione*. Si ricorda che come valore limite di saturazione viene considerato abitualmente un peso assoluto pari a 0,35 (Fabbris, 1997).

Il valore assunto da ogni peso fattoriale è importante per stabilire in che misura il fattore riesca a spiegare o, in altri termini, a descrivere il comportamento di una variabile. Per rendere maggiormente interpretabili i fattori estratti, si può operare una rotazione degli stessi. Tale operazione non muta la quota di varianza spiegata da ciascuna variabile né la comunaltà di ognuna di esse, ma agisce in modo che ogni peso fattoriale sia maggiormente interpretabile. Le rotazioni vengono utilizzate quando si è in presenza di fattori correlati contemporaneamente a più variabili e si presentano oggettive difficoltà nell'interpretazione dei fattori stessi. La rotazione compiuta, di tipo Varimax, fa sì che ciascuna variabile saturi una o al massimo due componenti e che il grado di saturazione sia più prossimo all'unità oppure a zero (Tab. 4).

### 3.3 Definizione di un nuovo indicatore composto

Le cinque componenti principali individuate nelle fasi preliminari rappresentano gli indicatori di base per mezzo dei quali è possibile successivamente definire l'indicatore composto in grado di riassumere l'informazione dei parametri di partenza.

	Componenti non ruotate					Componenti ruotate				
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
<b>uso suolo</b>	0,710	0,453	0,318	0,212	-0,042	0,904	-0,124	-0,067	0,144	0,006
<b>politiche</b>	0,286	0,140	-0,033	-0,676	0,106	-0,008	0,022	-0,403	0,637	-0,043
<b>pendenza</b>	-0,452	0,103	0,516	0,213	0,144	-0,016	0,136	0,703	0,043	0,180
<b>drenaggio</b>	0,185	0,236	0,599	-0,500	0,086	0,235	-0,070	0,199	0,778	-0,025
<b>tessitura</b>	-0,567	0,660	-0,297	-0,017	-0,036	-0,079	0,909	0,072	-0,072	-0,061
<b>rocciosità</b>	-0,407	0,581	-0,307	0,281	-0,030	0,091	0,750	0,073	-0,319	0,013
<b>pietrosità</b>	0,610	-0,449	-0,233	0,108	-0,107	0,121	-0,602	-0,469	-0,224	-0,064
<b>profondità</b>	-0,579	0,503	-0,205	-0,275	0,070	-0,257	0,781	0,061	0,173	-0,011
<b>rischio incendio</b>	-0,670	-0,063	0,502	0,210	-0,210	-0,230	0,107	0,833	-0,090	-0,165
<b>erosione</b>	0,666	0,303	-0,135	0,302	-0,131	0,698	-0,082	-0,360	-0,190	-0,060
<b>siccità</b>	0,638	0,498	0,354	0,192	-0,060	0,887	-0,063	-0,005	0,173	-0,018
<b>copertura</b>	0,801	0,318	-0,204	-0,087	0,141	0,603	-0,081	-0,628	0,177	0,121
<b>esposizione</b>	-0,008	-0,066	-0,002	0,255	0,934	-0,023	-0,027	0,022	-0,054	0,968

Tab. 4 - Pesi fattoriali delle variabili per ogni componente estratta

La scelta di aggregare cinque indicatori di base è evidentemente dettata dai risultati ottenuti dalle analisi statistiche effettuate e, quindi, dai dati di partenza facenti riferimento all'area di studio. In accordo con la tecnica delle componenti principali e la teoria dell'analisi fattoriale, è possibile assegnare dei pesi a ciascun indicatore di base che non misurino la teorica importanza dello stesso, bensì servano a correggere le informazioni sovrapposte contenute in ogni indicatore (Nicoletti et al., 2000; Nardo et al., 2005 b).

Una volta individuati e ruotati i fattori comuni, si procede alla definizione degli indicatori intermedi che sintetizzano l'informazione contenuta nei parametri di base. Il raggruppamento dei parametri avviene mediante valutazioni effettuate sulla capacità di saturazione di ognuno di essi per ciascuna componente. In altri termini, in base al modello matematico su cui si fonda la teoria dell'analisi fattoriale è possibile stabilire quali variabili possono essere rappresentate da ogni fattore. Per determinare gli indicatori intermedi, naturalmente in numero uguale al numero di fattori estratti, è opportuno prima normalizzare i valori dei pesi fattoriali per poter confrontare poi ogni valore ottenuto con tutti gli altri. Nella tabella 5 sono riportati i pesi prima e dopo l'operazione di normalizzazione.

Come è possibile osservare, anche dopo l'operazione di normalizzazione le variabili *Usa suolo*, *Erosione* e *Siccità* possono essere raggruppate in unico indicatore intermedio I1, le variabili *Tessitura*, *Rocciosità*, *Pietrosità* e *Profondità* nell'indicatore intermedio I2, le variabili *Pendenza*, *Rischio incendio* e *Copertura* nell'indicatore I3, le variabili *Politiche* e *Drenaggio* nell'indicatore I4 mentre la variabile *Esposizione*, da sola, costituisce l'indicatore I5.

	Pesi fattoriali ruotati					Pesi fattoriali ruotati e normalizzati				
	Componente					Componente				
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
<b>uso suolo</b>	<i>0,904</i>	-0,124	-0,067	0,144	0,006	<i>0,307</i>	0,006	0,002	0,008	0,000
<b>politiche</b>	-0,008	0,022	-0,403	<i>0,637</i>	-0,043	0,000	0,000	0,061	<i>0,153</i>	0,001
<b>pendenza</b>	-0,016	0,136	<i>0,703</i>	0,043	0,180	0,000	0,007	<i>0,186</i>	0,001	0,012
<b>drenaggio</b>	0,235	-0,070	0,199	<i>0,778</i>	-0,025	0,021	0,002	0,015	<i>0,228</i>	0,000
<b>tessitura</b>	-0,079	<i>0,909</i>	0,072	-0,072	-0,061	0,002	<i>0,311</i>	0,002	0,002	0,001
<b>rocciosità</b>	0,091	<i>0,750</i>	0,073	-0,319	0,013	0,003	<i>0,211</i>	0,002	0,038	0,000
<b>pietrosità</b>	0,121	-0,602	-0,469	-0,224	-0,064	0,005	<i>0,136</i>	0,083	0,019	0,002
<b>profondità</b>	-0,257	<i>0,781</i>	0,061	0,173	-0,011	0,025	<i>0,230</i>	0,001	0,011	0,000
<b>rischio incendio</b>	-0,230	0,107	0,833	-0,090	-0,165	0,020	0,004	<i>0,261</i>	0,003	0,010
<b>erosione</b>	<i>0,698</i>	-0,082	-0,360	-0,190	-0,060	<i>0,183</i>	0,003	0,049	0,014	0,001
<b>siccità</b>	<i>0,887</i>	-0,063	-0,005	0,173	-0,018	<i>0,296</i>	0,002	0,000	0,011	0,000
<b>copertura</b>	0,603	-0,081	-0,628	0,177	0,121	0,137	0,002	<i>0,148</i>	0,012	0,006
<b>esposizione</b>	-0,023	-0,027	0,022	-0,054	<i>0,968</i>	0,000	0,000	0,000	0,001	<i>0,353</i>

**Tab. 5** - Confronto tra i pesi fattoriali prima e dopo l'operazione di normalizzazione. In corsivo sono indicati i valori massimi per ogni variabile

L'approccio statistico usato fa sì che venga individuato per ogni fattore un peso legato al contributo dato alla varianza totale, attribuendo un peso maggiore agli indicatori che hanno varianza più grande. Ad ogni indicatore intermedio è stato possibile associare un peso ( $w_i$ ) determinato dal rapporto tra la varianza spiegata dalla componente a cui fa riferimento l'indicatore ( $v_i$ ) e la varianza totale delle componenti individuate:

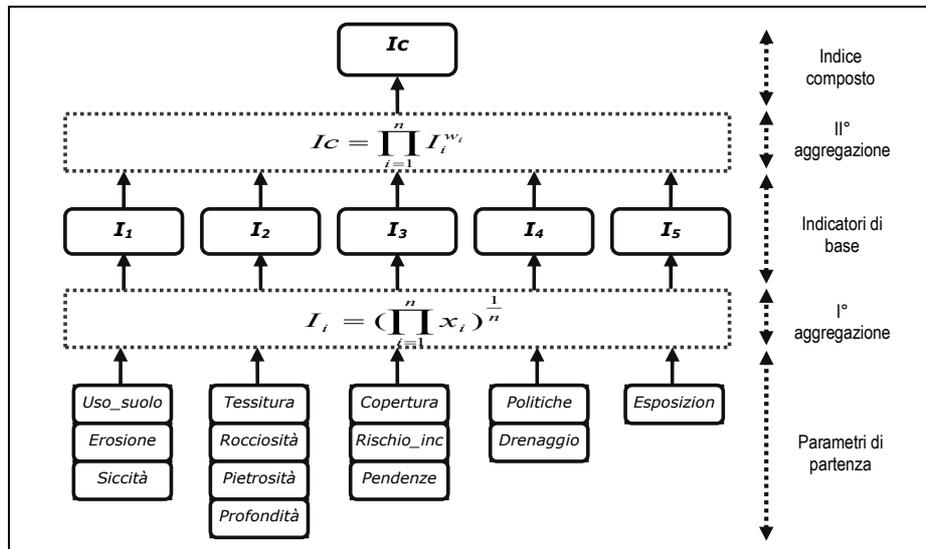
$$w_i = \frac{v_i}{\sum_{i=1}^q v_i} \quad (1)$$

Dal calcolo effettuato, risulta che alla prima componente corrisponde una percentuale di varianza pari al 27,7%, alla seconda una percentuale del 25,3% e così via fino all'ultima componente che spiega il 10,7% della varianza totale (Tab. 6).

	Componente				
	1	2	3	4	5
$v_i$	2,658	2,430	2,152	1,329	1,027
$w_i$	0,277	0,253	0,224	0,138	0,107

**Tab. 6** - Varianze e relative percentuali calcolate per le cinque componenti

Lo schema proposto per il calcolo del nuovo indice composto  $I_c$  (Fig. 1) si avvale perciò di due livelli di aggregazione: il primo riguarda le variabili di partenza unite in cinque indicatori di base, il secondo prevede che questi ultimi contribuiscano a definire l'indice composto finale.



**Fig. 1** - Livelli di aggregazione del nuovo indice composto

Nelle due aggregazioni effettuate sono stati utilizzati metodi di aggregazione differenti, anche se ambedue fondati sui risultati delle analisi statistiche compiute sui dati di partenza. Nella prima aggregazione del metodo proposto le variabili che permettono di calcolare ogni indicatore di base sono legate tra loro attraverso la media geometrica così calcolata:

$$I_i = \left( \prod_{i=1}^n w_i \cdot x_i \right)^{\frac{1}{n}} = \left( \prod_{i=1}^n x_i \right)^{\frac{1}{n}} \quad (2)$$

In questo caso ad ogni variabile viene assegnata uguale importanza ( $w_i = 1$ ); nella prima aggregazione, quindi, si è scelto di utilizzare la stessa tecnica utilizzata dalla metodologia ESAs, raccogliendo però le variabili in gruppi diversi e tenendo conto delle indicazioni emerse dall'analisi fattoriale compiuta nella fase antecedente.

La definizione del nuovo indice composto si avvale di una forma di aggregazione diversa dalla metodologia ESAs. La nuova forma di aggregazione, infatti, utilizza i pesi derivanti dall'attuazione del metodo statistico; l'indice viene calcolato moltiplicando ogni indicatore di base  $I_i$  elevato al peso  $w_i$  secondo la seguente formula:

$$Ic = \prod_{i=1}^n I_i^{w_i} = I_1^{w_1} \cdot I_2^{w_2} \cdot I_3^{w_3} \cdot I_4^{w_4} \cdot I_5^{w_5} \quad (3)$$

La forma di aggregazione è di tipo geometrico o moltiplicativo (Nardo et al., 2005 a), diversa dalla forma più comune utilizzata dalla metodologia ESAs (Kosmas et al., 1999):

$$ESAI = \left( \prod_{i=1}^n I_i \right)^{\frac{1}{n}} = (SQI \cdot VQI \cdot CQI \cdot MQI)^{1/4} \quad (4)$$

#### 4. Calcolo del nuovo indicatore per un'area del crotonese

L'ultima fase delle analisi e delle valutazioni compiute è coincisa con il calcolo del nuovo indice e la sua successiva rappresentazione in termini di mappe. Sono stati effettuati due differenti calcoli dell'indice di desertificazione, uno effettuato considerando i medesimi range di definizione dei parametri di base e le classi utilizzate dal metodo ESAs (Kosmas et al., 1999), l'altro modificando il range di alcuni parametri di base e cambiando, di conseguenza, i valori limite di definizione di ciascuna classe del metodo ESAs. In ambedue i casi il numero e la tipologia delle variabili impiegate, insieme alla quantità di classi utilizzate, è rimasto invariato.

Nell'esposizione dei risultati gli indici composti, analizzati e confrontati, sono indicati secondo le sigle riportate nella tabella 7.

Di seguito sono illustrati i risultati ottenuti dalle elaborazioni effettuate. Inizialmente vengono esposti i risultati che fanno riferimento agli indicatori I1 e E1, calcolati senza modificare i punteggi delle variabili di partenza ma ridefinendo gli intervalli delle classi considerate.

Nome indice	Sigla utilizzata	Descrizione
Nuovo indice di desertificazione I1	I1	Indice definito attraverso le variabili individuate dalla metodologia ESAs, fatta eccezione per le variabili <i>Pioggie</i> e <i>Aridità</i> , e calcolato con la nuova metodologia
Indice di desertificazione ESAI1	E1	Indice definito attraverso tutte le variabili individuate dalla metodologia ESAs e calcolato con la stessa metodologia
Nuovo indice di desertificazione I2	I2	Indice definito attraverso le variabili utilizzate per il calcolo di I1, modificando i punteggi della variabile <i>Profondità</i> , e calcolato con la nuova metodologia
Indice di desertificazione ESAI2	E2	Indice definito attraverso le variabili utilizzate per il calcolo di E1, modificando i punteggi delle variabili <i>Profondità</i> e <i>Pioggie</i> , e calcolato con la metodologia ESAs

Tab. 7 - Indici e sigle utilizzate

#### 4.1 Calcolo degli indicatori composti con punteggi non modificati

Per il calcolo dell'indice composto I1, definito attraverso la nuova metodologia adottata, ci si è avvalsi delle variabili ritenute valide dalle analisi statistiche effettuate in fase preliminare. Delle 15 variabili di partenza, per mancanza di correlazioni con le restanti variabili, due sono state escluse (*Pioggie* e *Aridità*), mentre gli intervalli considerati sono indicati in tabella 8. Utilizzando poi le formule 2 e 3, è stato possibile ricavare gli indicatori intermedi e l'indice composto della desertificazione.

Per l'indicatore I1, essendo variato il numero di variabili utilizzate, gli intervalli di definizione delle classi sono stati ricalcolati. Nel caso dell'indicatore E1, invece, non è stato necessario compiere nessuna modifica. Le classi complessivamente sono 8 e indicano progressivamente livelli maggiori in termini di sensibilità alla desertificazione: si passa dalla classe di sensibilità *Non affetta*, che in-

Nome della classe		Intervallo di definizione E1	Intervallo di definizione I1
N	<i>Non affetta</i>	1.00 – 1.17	1.00 - 1.16
P	<i>Potenziale</i>	1.18 – 1.22	1.17 - 1.21
F1	<i>Fragile</i>	1.23 – 1.26	1.22 - 1.25
F2	<i>Fragile</i>	1.27 – 1.32	1.26 - 1.31
F3	<i>Fragile</i>	1.33 – 1.37	1.32 - 1.36
C1	<i>Critica</i>	1.38 – 1.41	1.37 - 1.40
C2	<i>Critica</i>	1.42 – 1.53	1.41 - 1.51
C3	<i>Critica</i>	1.54 – 2.18	1.52 - 2.09

Tab. 8 - Intervalli di definizione delle classi adottate nel calcolo di E1 e I1

dica la mancanza assoluta di fenomeni di desertificazione, alla classe di sensibilità *Critica* secondo la quale evidenti appaiono i caratteri di impoverimento del terreno dovuti ai processi di desertificazione in atto.

Per ogni indicatore calcolato sono state ottenute delle mappe e sono state ricavate importanti informazioni riguardanti la superficie territoriale e la distribuzione percentuale delle diverse classi. Vengono di seguito riportati i risultati delle elaborazioni effettuate per l'indicatore I1 (Figg. 2 e 3). Per i risultati e le mappe relativi ad E1 si rimanda agli altri contributi del presente volume (Coscarelli et al., 2007).

#### 4.2 Calcolo degli indicatori composti con punteggi modificati

In una seconda fase è stato deciso di applicare la nuova metodologia di calcolo sugli stessi parametri ma definiti con punteggi differenti (Tab. 9). Alle due variabili *Piogge* e *Profondità* è stato assegnato un intervallo di definizione uguale a quello delle altre variabili (tra 1 e 2 anziché tra 1 e 4). L'operazione di ridefinizione degli intervalli di definizione fa sì che ogni variabile utilizzata nel calcolo dell'indice composto abbia uguale importanza e stessa incidenza in termini quantitativi.

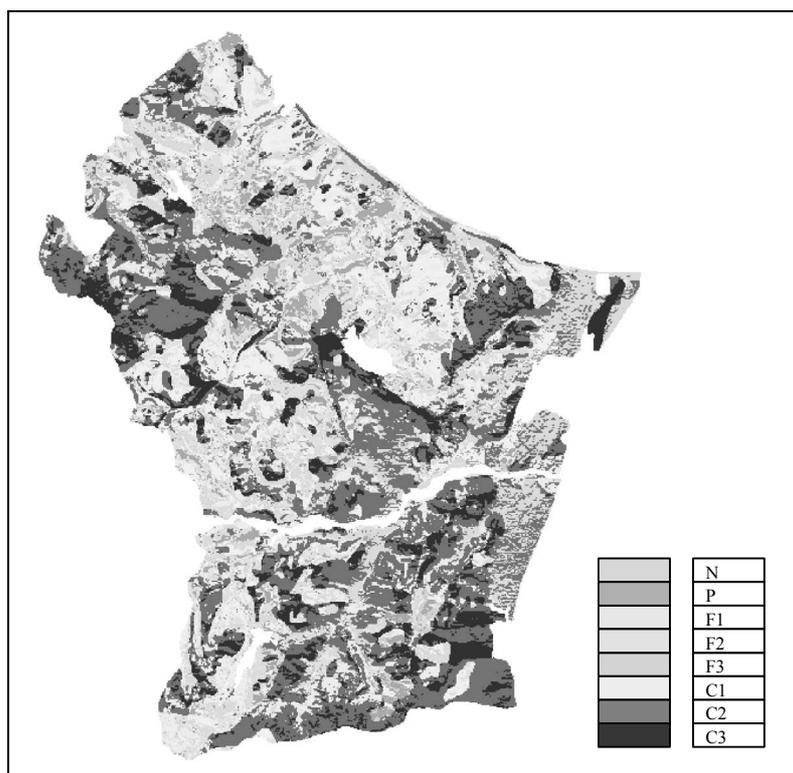


Fig. 2 - Mappa indice composto I1

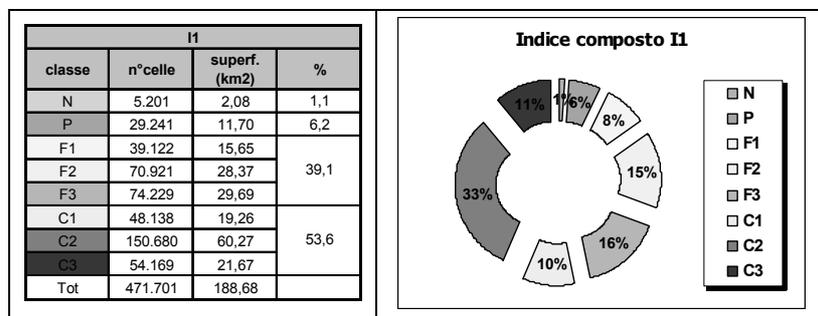


Fig. 3 - Superfici e distribuzioni percentuali delle classi per l'indice composto I1

Nome variabile	Classi	Punteggio metodologia ESAs	Nuovo punteggio attribuito
Profondità	>75 cm	1	1
	30 cm - 75 cm	2	1,3
	15 cm - 30 cm	3	1,7
	< 15 cm	4	2
Piogge	> 650 mm/anno	1	1
	280 mm/anno - 650 mm/anno	2	1,3
	< 280 mm/anno	4	2

Tab. 9 - Nuovi punteggi delle variabili Profondità e Piogge

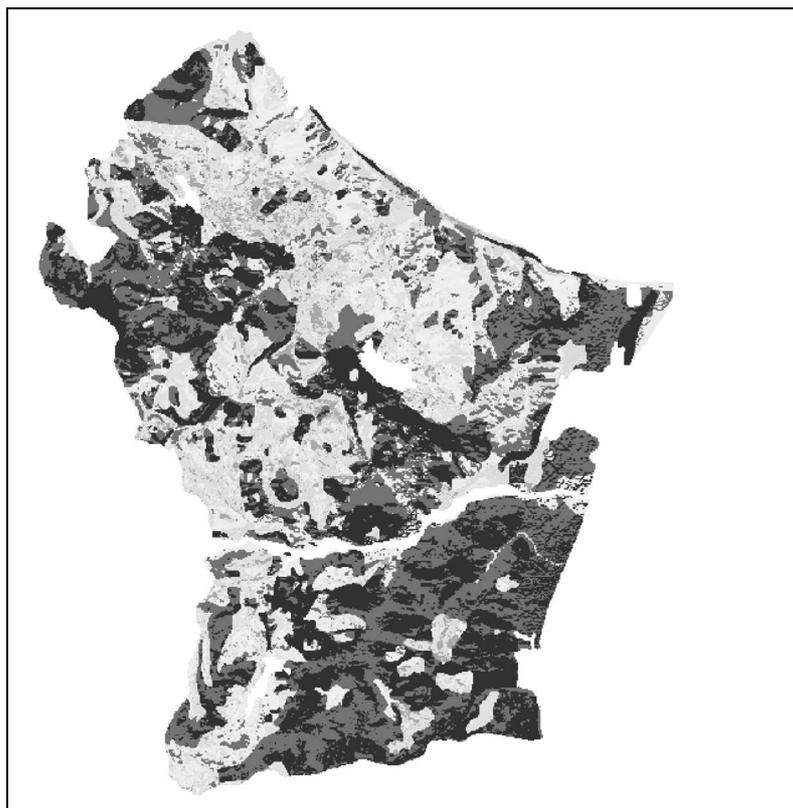
Anche in questo caso, non considerando le variabili *Piogge* e *Aridità* perché di varianza nulla ed eseguendo nuovamente una analisi di tipo fattoriale, è stato verificato come i risultati ottenuti coincidano esattamente con quelli ottenuti prima di apportare le suddette modifiche. Infatti, nonostante la variabile *Profondità* abbia subito sostanziali cambiamenti nei punteggi attribuiti, dalle analisi è emerso come le correlazioni tra le diverse variabili, gli autovalori individuati e le varianze associate non subiscano variazioni. Ciò ha comportato una uguale aggregazione delle variabili nei cinque indicatori intermedi ed ha permesso di utilizzare gli stessi valori dei pesi da utilizzare nel secondo livello di aggregazione della metodologia. Il cambiamento apportato alla variabile *Profondità* ha, però, modificato gli intervalli di definizione delle 8 classi utilizzate per classificare l'area oggetto di studio. In tabella 10 vengono indicati i nuovi intervalli di definizione calcolati a seguito delle modifiche apportate.

In questa seconda analisi è stato utile verificare come i nuovi punteggi attribuiti alle variabili influiscano anche sul calcolo dell'indice composto E2 definito dalla metodologia ESAs.

Nome della classe		Intervallo di definizione E2	Intervallo di definizione I2
N	<i>Non affetta</i>	1.00 – 1.14	1.00 – 1.14
P	<i>Potenziale</i>	1.15 – 1.18	1.15 – 1.18
F1	<i>Fragile</i>	1.19 – 1.22	1.19 – 1.22
F2	<i>Fragile</i>	1.22 – 1.26	1.22 – 1.26
F3	<i>Fragile</i>	1.27 – 1.30	1.27 – 1.30
C1	<i>Critica</i>	1.31 – 1.34	1.31 – 1.34
C2	<i>Critica</i>	1.35 – 1.44	1.35 – 1.44
C3	<i>Critica</i>	1.45 – 2.00	1.45 – 2.00

**Tab. 10** - Intervalli di definizione delle classi adottate per il calcolo di E2 e I2

Anche in questo caso, per ogni indicatore sono state ricavate nuove mappe ottenendo dalla nuova classificazione differenti distribuzioni in superficie e in percentuale. Nelle figure 4 e 5 si riportano i risultati delle elaborazioni per l'indicatore I2.



**Fig. 4** - Mappa indice composto I2

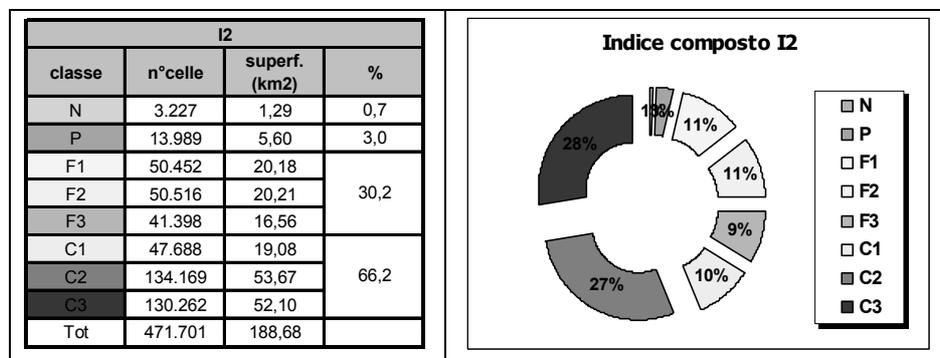


Fig. 5 - Superfici e distribuzioni percentuali delle classi per l'indice composto I2.

## 5. Confronto con la metodologia ESAs

I quattro indici composti di desertificazione hanno prodotto risultati oggetto di approfondimenti successivi. In ultima analisi, infatti, è stato di ulteriore interesse confrontare le due metodologie applicate misurando quantitativamente le diversità riscontrate. Le analisi effettuate sono state compiute, primariamente, in termini di superfici classificate e, successivamente, attraverso delle matrici di confronto in cui sono evidenziati i cambiamenti di classe. Infine, sono state elaborate degli istogrammi di confronto.

Le matrici di confronto sono state ottenute paragonando le coppie di indici composti definiti e calcolati sull'intera area di studio. Nei confronti sono state considerate le celle che, durante l'applicazione delle metodologie, per ciascuna classe hanno subito cambiamenti. Lo schema adottato (tab. 11) è quello di una matrice  $8 \times 8$  in cui righe e colonne fanno riferimento alle 8 classi di sensibilità alla desertificazione utilizzate. Ogni elemento della matrice  $e_{ij}$  esprime il numero di celle classificate inizialmente come appartenenti ad  $i$  e classificate successivamente come appartenenti a  $j$ , mentre gli elementi disposti lungo la diagonale principale indicano il numero di celle che non hanno subito alcun cambiamento di classe. Il totale di ogni riga  $R_i$  rappresenta il numero di celle appartenenti alla classe  $CL_i$  classificato con la metodologia dell'indice  $I_i$ , il totale di ogni colonna  $C_j$ , invece, indica il numero di celle della classe  $CL_j$  classificato con la metodologia dell'indice  $I_j$ .

Da ogni matrice di confronto è stata ricavata la corrispondente matrice in termini percentuali e un diagramma che rappresenta in maniera grafica il numero di celle classificate con i diversi metodi applicati. La matrice percentuale è stata calcolata dividendo ogni elemento  $e_{ij}$  per il totale corrispondente  $R_i$  in modo tale da evidenziare le quote di celle primariamente classificate con l'indicatore  $I_i$  e successivamente classificate con l'indice  $I_j$ . I confronti sono stati effettuati sulle analisi delle seguenti coppie di indici composti:

- I1 - E1,
- I2 - E2,

$l_i \backslash l_j$	CL1			CLj			CL8	Tot
CL1	.	.	.	.	.	.	.	R1
	.	.	.	.	.	.	.	
	.	.	.	.	.	.	.	
CLi	.	.	.	$e_{ij}$	.	.	.	Ri
	.	.	.	.	.	.	.	
	.	.	.	.	.	.	.	
CL8	.	.	.	.	.	.	.	R8
Tot	C1	.	.	Cj	.	.	C8	

**Tab. 11** - Schema matrice di confronto

Nella prima analisi di confronto tra l'indice E1 e l'indice I1, all'indice  $l_i$  dello schema di riferimento corrisponde E1 mentre l'indice  $l_j$  coincide con I1. La matrice di confronto ottenuta (Fig. 6) evidenzia come un gran numero di celle, inizialmente classificate in ogni classe con la metodologia ESAs, a seguito della nuova classificazione eseguita abbia modificato la propria classe di appartenenza. Infatti gli elementi non nulli della matrice sono presenti per lo più a destra della diagonale principale, cioè per posizioni che soddisfano la condizione  $j > i$ . Gli spostamenti maggiori riguardano la classe F1 per la quale, calcolando E1, le celle sono risultate 63569 mentre, procedendo al calcolo di I1, il numero scende a 39122: 10640 non hanno subito cambiamenti di classe, ben 51904 sono state classificate da I1 come F2 e 1025 hanno subito spostamento da F1 a F3. Le altre classi che hanno subito maggiori modifiche sono le classi F2 e C1, come è anche possibile osservare dalla matrice in termini percentuali. Solo poche celle, appartenenti alle classi P e C1, risultano "declassate".

I1	N	P	F1	F2	F3	C1	C2	C3	Tot
<b>E1</b>									
N	4.201	2.311	0	0	0	0	0	0	6.512
P	1.000	26.930	28.482	6.597	45	0	0	0	63.054
F1	0	0	10.640	51.904	1.025	0	0	0	63.569
F2	0	0	0	12.420	39.299	8.804	545	0	61.068
F3	0	0	0	0	24.467	25.212	9.638	0	59.317
C1	0	0	0	0	9.393	14.122	43.203	1	66.719
C2	0	0	0	0	0	0	97.294	42.712	140.006
C3	0	0	0	0	0	0	0	11.456	11.456
Tot	5.201	29.241	39.122	70.921	74.229	48.138	150.680	54.169	471.701

Cambiamenti di classe in termini di pixel

I1	N	P	F1	F2	F3	C1	C2	C3
<b>E1</b>								
N	64,5%	35,5%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
P	1,6%	42,7%	45,2%	10,5%	0,1%	0,0%	0,0%	0,0%
F1	0,0%	0,0%	16,7%	81,6%	1,6%	0,0%	0,0%	0,0%
F2	0,0%	0,0%	0,0%	20,3%	64,4%	14,4%	0,9%	0,0%
F3	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	41,2%	42,5%	16,2%	0,0%
C1	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	14,1%	21,2%	64,8%	0,0%
C2	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	69,5%	30,5%
C3	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	100,0%

Cambiamenti di classe in termini percentuali

**Fig. 6** - Matrici di confronto I1 - E1

Nel diagramma di figura 7, invece, per ciascuna classe è possibile notare i risultati delle due diverse classificazioni. Ciò che emerge maggiormente è la tendenza di I1 a classificare un numero maggiore di celle nelle classi con un livello superiore di sensibilità. Andamento particolarmente osservabile per la classe C3.

Per l'indice I1 le differenze maggiori riscontrabili dal confronto dei dati ottenuti riguardano principalmente le classi di sensibilità P e C3: nel primo caso la classe con le unità territoriali classificate come potenziali per l'indice I1 risulta avere una superficie di 11,7 km<sup>2</sup> mentre la stessa aumenta più del doppio se la metodologia applicata è quella dell'indice E1, circa 25,2 km<sup>2</sup>. Un risultato completamente opposto, invece, è osservabile per la classe C3 in cui si passa da una superficie di 21,7 km<sup>2</sup> dell'indice I1 ad una superficie di 4,6 km<sup>2</sup> dell'indice E1. Le restanti classi di sensibilità non presentano differenze sostanziali tra le due metodologie applicate.

Il secondo confronto analizzato è quello relativo agli indici composti I2 e E2. La matrice di confronto di figura 8 indica come maggiore sia stato il numero di celle che, inizialmente classificate con l'indice E2, sono aumentate di classe con il calcolo del nuovo indice I2. A differenza del confronto precedente, si è registrato un numero maggiore di declassamenti per ciascuna classe, e le percentuali di celle che non hanno subito cambiamenti sono più alte. In questo secondo caso, dunque, le procedure analizzate hanno prodotto risultati meno discordanti rispetto al caso analizzato precedentemente, con ben il 71% circa delle celle che non ha subito modifiche.

Il diagramma di confronto (fig. 9) evidenzia quanto sopra riportato. Le operazioni di classificazione analizzate non discostano molto se vengono osservate singolarmente tutte le classi di sensibilità. Anche in questo caso la differenza maggiore è riscontrabile per la classe C3. Le superfici classificate con le due diverse metodologie di calcolo, infatti, non presentano particolari differenze e la distribuzione superficiale tra le classi si presenta molto simile.

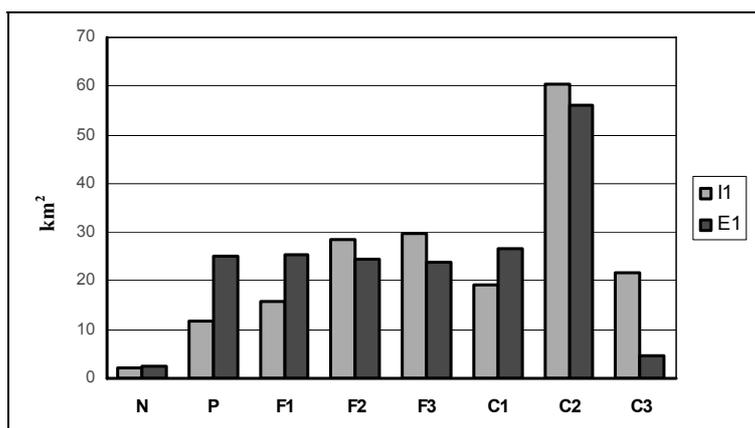


Fig. 7 - Istogramma di confronto I1 – E1 in termini di superficie

I2	N	P	F1	F2	F3	C1	C2	C3	Tot
<b>E2</b>									
N	272	291	0	0	0	0	0	0	563
P	2.955	9.893	8.625	0	0	0	0	0	21.473
F1	0	3.805	32.943	10.284	435	63	0	0	47.530
F2	0	0	8.884	34.894	18.166	1.625	0	0	63.569
F3	0	0	0	5.338	21.374	17.408	1.760	0	45.880
C1	0	0	0	0	1.423	24.888	14.414	0	40.725
C2	0	0	0	0	0	3.704	110.534	31.453	145.691
C3	0	0	0	0	0	0	7.461	98.809	106.270
<b>Tot</b>	<b>3.227</b>	<b>13.989</b>	<b>50.452</b>	<b>50.516</b>	<b>41.398</b>	<b>47.688</b>	<b>134.169</b>	<b>130.262</b>	<b>471.701</b>

Cambiamenti di classe in termini di pixel

I2	N	P	F1	F2	F3	C1	C2	C3
<b>E2</b>								
N	48,3%	51,7%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
P	13,8%	46,1%	40,2%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
F1	0,0%	8,0%	69,3%	21,6%	0,9%	0,1%	0,0%	0,0%
F2	0,0%	0,0%	14,0%	54,9%	28,6%	2,6%	0,0%	0,0%
F3	0,0%	0,0%	0,0%	11,6%	46,6%	37,9%	3,8%	0,0%
C1	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	3,5%	61,1%	35,4%	0,0%
C2	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	2,5%	75,9%	21,6%
C3	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	7,0%	93,0%

Cambiamenti di classe in termini percentuali

Fig. 8 - Matrici di confronto I2 – E2

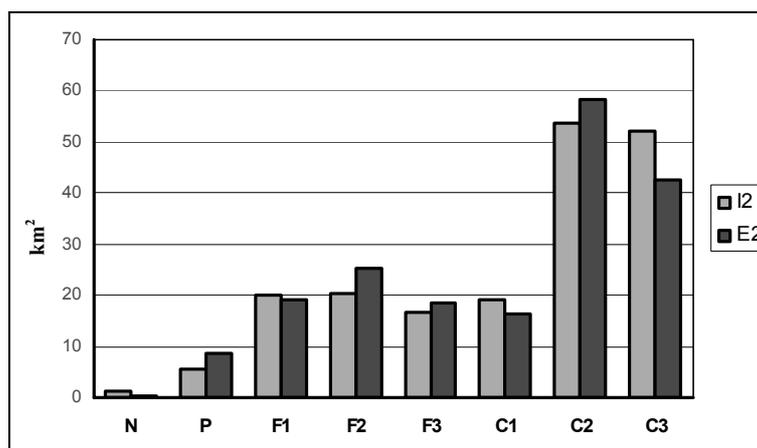


Fig. 9 - Istogramma di confronto I2 – E2 in termini di superficie

## 6. Conclusioni

La procedura di costruzione di un indice composto basata su metodologia statistica ha permesso di definire un nuovo indice della desertificazione attraverso considerazioni esclusivamente oggettive. Il metodo adottato si è avvalso di tecniche che consentono di conservare in larga parte il contenuto informativo dei parametri considerati e di aggregarli in una forma che tiene conto del contributo dato alla varianza totale da ciascun fattore.

Il calcolo del nuovo indice, nel caso di studio, ha utilizzato 13 parametri del-

la desertificazione, escludendo i parametri a varianza nulla sull'area analizzata. I risultati ottenuti con la nuova metodologia presentano una distribuzione che tende a classificare con sensibilità più elevata alla desertificazione porzioni maggiori di superficie rispetto alla metodologia ESAs.

Dando invece un peso uguale, ovvero uno stesso range, a tutti i parametri di partenza, si osservano delle differenze meno significative tra le applicazioni dei due metodi. Per l'area di studio, quindi, il non aver considerato i parametri Piogge e Aridità non ha determinato rispetto all'applicazione della procedura ESAs un miglioramento della sensibilità ambientale, bensì in generale un suo peggioramento, dimostrando quindi che non sono questi i parametri, almeno per l'area in esame, determinanti per l'innescare di processi di desertificazione.

## Bibliografia

- Alfsen K.H., Saebo H.V. (1993). *Environmental quality indicators: background, principles and examples from Norway*. Environmental and Resource Economics 3, pp. 415–435.
- Brogueira M J., Cabecadas G. (2006). *Identification of similar environmental areas in Tagus estuary by using multivariate analysis*. Ecological Indicators 6, pp. 508–515.
- Bryant F. B., Yarnold P. R. (1995). *Principal-components analysis and exploratory and confirmatory factor analysis*. In: Reading and understanding multivariate statistics (L. G. Grimm & P. R. Yarnold Eds.), pp. 99–136.
- Callens I., Tyteca D. (1999). *Towards indicators of sustainable development for firms*. Ecological Economics 28, pp. 41–53.
- Coscarelli R., Ceccanti B., Masciandaro G., Minervino I., Sorriso-Valvo M. (2007). *Applicazione della metodologia ESAs in un'area campione e validazione con dati di campo*. Presente Volume.
- 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.
- Fabbris L. (1997). *Statistica multivariata, analisi esplorativa dei dati*. Mc Graw-Hill Libri Italia.
- Gustavson K., Longeran S., Ruitenbeek H.J. (1999). *Selection and modelling of sustainable development indicators: a case study of the Fraser River Basin, British Columbia*. Ecological Economics 28, pp. 117–132.
- Jafari M., Zare Chahouki M.A., Tavili A., Azarnivand H., Zahedi Amiri Gh. (2004). *Effective environmental factors in the distribution of vegetation types in Poshtkouh rangelands of Yazd Province (Iran)*. Journal of Arid Environments 56, pp. 627–641.
- Johnson A. R., Turner S. J., Whitford W. G., de Soyza A. G., Van Zee J. W. (2000). *Multivariate characterization of perennial vegetation in the northern Chihuahuan Desert*. Journal of Arid Environments 44, pp. 305–325.
- Joint Research Centre (2002). *State-of-the-art Report on Current Methodologies and Practices for Composite Indicator Development*. Applied Statistics Group.
- Jollands N., Lermitt J., Patterson M. (2004). *Aggregate eco-efficiency indices for New Zealand—a principal components analysis*. Journal of Environmental Management 73, pp. 293–305.
- Kosmas C., Kirkby M., Geeson N. (1999). *The Medalus project Mediterranean desertification and land use. Manual on key indicators of desertification and mapping environmentally sensitive areas to desertification*. European Commission.

- Lindsey G., Wittman J., Rummel M. (1997). *Using indices in environmental planning: evaluating policies for wellfield protection*. *Journal of Environmental Planning and Management* 40, pp. 685–703.
- MacLeod C. J., Moller H. (2006). *Intensification and diversification of New Zealand agriculture since 1960: An evaluation of current indicators of land use change*. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 115, pp. 201–218.
- Nardo M., Saisana M., Saltelli A., Tarantola S., Hoffman A., Giovannini E., (2005 a). *Handbook on constructing composite indicators: methodology and user guide*, OECD Statistics working paper (EC/JRC).
- Nardo M., Saisana M., Saltelli A., Tarantola S. (2005 b). *Tools for Composite Indicators Building*. Joint Research Centre.
- Nicoletti G., Scarpetta S., Boylaud O. (2000). *Summary indicators of product market regulation with an extension to employment protection legislation*. OECD.
- Owen S.M., MacKenzie A.R., Bunce R.G.H., Stewart H.E., Donovan R.G., Stark G., Hewitt C.N. (2006). *Urban land classification and its uncertainties using principal component and cluster analyses: A case study for the UK West Midlands*. *Landscape and Urban Planning* 78, pp. 311–321.
- Yu C., Quinn J.T., Dufournaud C.M., Harrington J.J., Rogers P.P., Lohani B.N. (1998). *Effective dimensionality of environmental indicators: a principal component analysis with bootstrap confidence intervals*. *Journal of Environmental Management* 53, pp. 101–119.

# VALUTAZIONE DEI CAMBIAMENTI DI USO DEL SUOLO E DEI FENOMENI EROSIIVI IN UN'AREA DI STUDIO DEL CROTONESE (CALABRIA, ITALIA)

*Evaluation of land use changes and erosion processes  
in a study area along the Ionian side of Calabria (Southern Italy)*

L. Antronico<sup>1</sup>, M. Scarpelli<sup>1</sup>

---

## Sommario

---

Nella nota vengono presentati i risultati dell'analisi dei cambiamenti di uso del suolo e della variazione nella distribuzione delle aree soggette a diversi gradi di erosione in un'area test, coincidente con il distretto viti-vinicolo del Cirò DOC della provincia di Crotone (Calabria, Italia). L'analisi è stata effettuata attraverso la fotointerpretazione di foto aeree in bianco e nero, riferite a due differenti periodi (1954 e 1991). La legenda adottata per la produzione delle carte di uso del suolo è quella del protocollo Corine Land Cover. I risultati ottenuti hanno consentito di identificare le principali tendenze evolutive dell'area test nell'arco di tempo considerato e, quindi, di valutare l'influenza che le variazioni d'uso del suolo ed i cambiamenti dei processi erosivi, in termini di incidenza areale, hanno sui fenomeni di degrado del suolo.

---

## Summary

---

The paper presents an analysis of land use changes and erosion process in a study area located along the Ionian side of Calabria (Italy). It coincides with the wine district of "Cirò DOC" in the province of Crotone. Two land use maps and two erosion maps were elaborated by means of photo-interpretation of b/w aerial photos relative to the years 1954 and 1991, obtaining in this way a multitemporal analysis. The Corine Land Cover protocol and classification were adopted to elaborate the land use maps. For the quantitative evaluations the software Arc-Gis 9.1 was used. The results obtained showing the main trends in land use changes and erosion processes incidence in the test area can indicate the influence of these on the land degradation phenomena.

## 1. Introduzione

Il suolo ha un'importanza fondamentale per la vita del pianeta, in quanto assicura una serie di funzioni chiave indispensabili dal punto di vista ambien-

---

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

le (funzione produttiva, protettiva, regolatrice e naturalistica). Ultimamente, però, in Europa, come in altre parti del Mondo, si sta assistendo ad una progressiva e preoccupante degradazione del suolo che, in particolare quando raggiunge livelli di irreversibilità, può costituire una inevitabile premessa al fenomeno della desertificazione. Il termine "suolo degradato" viene riferito ad un suolo che perde progressivamente la capacità di svolgere le proprie funzioni, in seguito alla concomitanza di cause naturali (variazioni climatiche) e cause antropiche (Kosmas et al., 1999; COM, 2002; Montanarella, 2005).

Le principali cause antropiche che possono condurre a seri problemi di degrado delle terre e quindi anche di desertificazione sono legate all'impatto delle attività socio-economiche sull'ambiente (agricoltura, urbanizzazione, allevamento intensivo, deforestazione, incendi, etc.).

In particolare, i cambiamenti di uso delle terre rappresentano uno dei processi che influiscono in maniera rilevante sui fenomeni di degrado del suolo in ambiente mediterraneo (Iannetta et al., 2005). A partire dagli anni '50 si sono verificati in Europa forti trasformazioni sociali ed economiche che hanno favorito profondi e diffusi cambiamenti nell'uso tradizionale delle terre. Infatti, molte aree agricole sottoposte prima a colture tradizionali sono state eccessivamente urbanizzate o sono state utilizzate da un punto di vista colturale in modo intensivo e/o non corretto o, in ultima analisi, sono state abbandonate. Ciò ha senz'altro prodotto molteplici e complessi effetti sulle dinamiche di degrado irreversibile delle terre (Iannetta et al., 2005). Le attività antropiche, infatti, dovrebbero essere programmate in stretta relazione con le caratteristiche dei suoli, cioè tenendo conto della capacità di un determinato tipo di suolo a "sopportare" le attività umane. Quando l'utilizzazione e la gestione avvengono in maniera intensiva o comunque non corretta, non tenendo conto della reale vocazionalità del suolo, insorgono fenomeni di degradazione.

In Italia, ed in particolare nel mezzogiorno della penisola, le trasformazioni del territorio, rappresentate principalmente da un'intensivizzazione colturale non sempre idonea e da una selvaggia urbanizzazione, insieme ad una pluralità di cause tra cui gli incendi boschivi, il sovrappascolamento, la salinizzazione dei suoli, hanno condotto il territorio verso seri problemi di degrado del suolo caratterizzato da diversi gradi di reversibilità (Colonna et al., 2000; Onorati et al., 2004; Di Gennaro et al., 2005; Iannetta et al., 2005).

Tra i processi di degrado della risorsa suolo derivanti dall'interazione delle cause naturali e dalle cause antropiche rientra l'erosione. Tale processo, che quindi fa parte di quelli che concorrono al fenomeno della desertificazione, determina un degrado progressivo della fertilità e quindi della produttività potenziale dei suoli (Kosmas et al., 1999; COM, 2002; Montanarella, 2005).

Le cause che stanno alla base dei processi di erosione del suolo possono essere naturali (tipo di terreno, esposizione e/o inclinazione del versante, particolari condizioni climatiche, etc.) e/o di origine antropica (incendi, sostituzione di boschi con zone coltivate, particolari pratiche agricole, etc.). L'interazione di tali cause può portare ad ingenti perdite di suolo che si manifestano mediante incisioni più o meno profonde le quali possono trasformarsi via via in estesi decorricamenti di lembi di suolo.

Gli effetti dell'erosione, pur non essendo apprezzabili a scale temporali inferiori all'ordine del giorno come accade per altri fenomeni catastrofici naturali, costituiscono un'emergenza ambientale da non sottovalutare, anche perché negli ultimi anni i fenomeni erosivi si stanno manifestando con maggiore frequenza e rilevanza in varie parti del mondo (Giordano, 1994; Pimentel et al., 1995; EEA-UNEP, 2000; EEA, 2002).

Nell'ambito del programma europeo CORINE, per l'Italia l'area interessata da rischio di erosione elevato è stata stimata pari al 10% dell'intero territorio nazionale; ulteriori studi sulla distribuzione delle aree italiane interessate da rischio di erosione sono state proposte da Van der Knijff et al. (1999, 2002) e da Grimm et al. (2002, 2003) che hanno affrontato la problematica a livello europeo. Anche all'interno dello stesso ambito nazionale occorre effettuare delle differenziazioni: le aree italiane soggette ad intensi processi di erosione idrica risultano le aree dell'Italia meridionale ed insulare, dove sono diffusi suoli altamente erodibili ed il clima è caratterizzato da una marcata stagionalità. In Calabria, recenti studi riguardanti il rischio di erosione idrica, hanno stimato un valore medio di erosione del suolo regionale pari a circa 2 mm/anno (ARSSA, 2005).

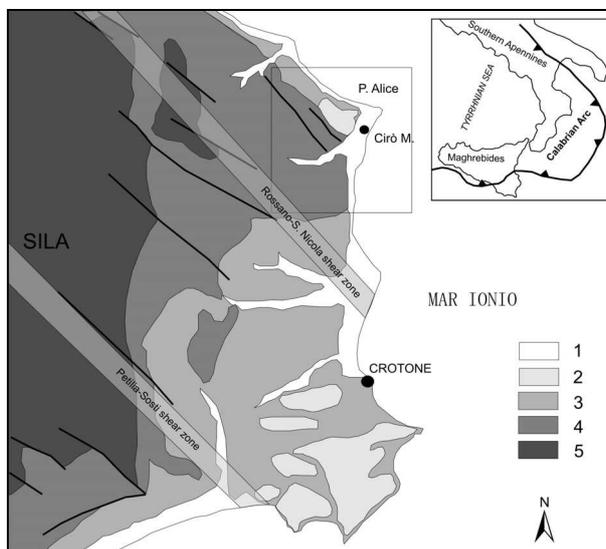
Nell'ambito delle succitate problematiche riguardanti il degrado del suolo e, quindi la desertificazione, si inquadra il presente lavoro che ha come scopo la valutazione dei cambiamenti nell'uso del suolo e l'analisi delle variazioni nella distribuzione delle aree soggette a diversi gradi di erosione in un'area test, coincidente con il comprensorio del "Cirò DOC", in provincia di Crotona (Calabria). In particolare, tale area da qualche anno è oggetto di studi riguardanti l'individuazione e la caratterizzazione delle aree sensibili alla desertificazione (Coscarelli et al., 2005, 2007). I risultati presentati, ottenuti attraverso un'analisi fotointerpretativa, basata sull'utilizzo di foto aeree relative a due periodi di riferimento (1954, 1991) e strumenti GIS, forniscono un valido contributo alla comprensione dei meccanismi innescanti i fenomeni di degrado del suolo nell'area di studio.

## **2. Inquadramento geologico e geomorfologico dell'area di studio**

L'area di studio, che si estende per circa 250 km<sup>2</sup>, comprende i comuni di Crucoli, Cirò, Crotona Marina, Melissa ed è ubicata lungo la fascia pedemontana del versante orientale del Massiccio della Sila delimitata ad est dal Mar Ionio.

Da un punto di vista geologico l'area si colloca all'interno del Bacino Crotonese, un'unità geologica individuabile sul versante ionico dell'Arco Calabro nella porzione di territorio delimitata ad ovest dal Massiccio della Sila ed ad est dal Mar Ionio (Fig. 1).

L'evoluzione del Bacino Crotonese, che risulta delimitato a nord ed a sud da due importanti zone di trascorrenza sinistra con direzione NW-SE, è stata legata all'apertura del Bacino Tirrenico centrale durante il Serravalliano-Tortoniano come conseguenza della migrazione verso SE dell'Arco Calabro e della subduzione passiva della placca litosferica ionica (Malinverno e Ryan, 1986; Moussat et al., 1986; Rehault et al., 1987; Patacca et al., 1990; Knott e Turco, 1991; Van Dijk 1991; Van Dijk e Scheepers, 1995; Mattei et al., 2002).



**Fig. 1** – Schema geologico del Bacino di Crotona e localizzazione dell'area test (da Duermeijer et al., 1998, modificata).  
 Legenda: 1) depositi clastici sabbioso-ghiaiosi, Olocene; 2) sabbie, conglomerati e calcareniti, Tirreniano-Crotoniano; 3) argille, argille marnose e sabbie, Pleistocene inf.-Pliocene sup.; 4) argille e marne biancastre, evaporiti, diatomiti, conglomerati ed arenarie, Pliocene inf.-Tortoniano; 5) unità della Sila: metamorfiti, graniti e copertura sedimentaria meso-cenozoica

Dettagliati studi riguardanti la stratigrafia dei depositi di riempimento del bacino sono stati effettuati da numerosi Autori tra cui Roda (1964), Moretti (1993), Van Dijk (1990), Zecchin et al. (2003, 2004). Sono state riconosciute tre unità tettono-stratigrafiche ciascuna delle quali composta da una o più sequenze deposizionali, datate Serravalliano-Pleistocene inferiore, depositatesi al di sopra del basamento cristallino metamorfico silano non affiorante: una unità inferiore sabbioso-arenacea ed evaporitica, datata Miocene medio-Messiniano, trasgressiva sul basamento cristallino metamorfico, una unità intermedia principalmente pelitica datata Messiniano-Pliocene medio, una unità superiore rappresentata da depositi arenaceo-conglomeratici del Pliocene medio-Pleistocene inferiore (Calabriano).

Vari Autori hanno evidenziato la presenza di diversi ordini di terrazzi marini, in particolare nella porzione meridionale del bacino, come conseguenza del sollevamento del bacino dal Pliocene medio (Roda, 1964; Ciaranfi et al., 1982; Massari et al.; 2002, Zecchin et al., 2004).

Nell'area di studio affiorano estesamente i depositi miocenici. La serie miocenica inizia con i conglomerati basali, composti per la maggior parte da frammenti di rocce cristalline, che presentano occasionali intercalazioni arenacee. In particolare, ad ovest dell'abitato di Cirò ed a sud-ovest dell'area di studio (Monte Bosco di Pescaldo) i conglomerati sono costituiti da frammenti di scisti biotitici. Ai conglomerati basali ed alle arenarie fa seguito una serie, che mostra rapidi cambiamenti laterali di facies, costituita alla base da argille marnose grigie, cui seguono argille siltose con intercalazioni conglomeratiche ed arenarie brunastre con intercalazioni conglomeratiche. Le colline che fiancheggiano il Torrente Lipuda sono costituite principalmente da argille marnose, che si rinvengono anche nella zona di pianura costiera tra Torre Melissa e la foce del Torrente Lipuda, mentre le arenarie, spesso associate alle marne, si ritrovano ad

ovest dell'abitato di Cirò, lungo la statale che conduce al Torrente Lipuda.

Nei pressi dell'abitato di Torre Melissa e lungo la statale che segna il limite inferiore dell'area di studio affiorano, intercalate ai depositi miocenici, argille scagliose policrome (cretacico-paleogeniche) la cui messa in posto è datata Tortoniano superiore-Messiniano superiore. Tali argille sono caratterizzate da una struttura caotica e da colore molto variabile: dal rosso violaceo al verde, al grigio piombo.

Al di sopra dei depositi miocenici, in discordanza, è presente la serie del Pliocene superiore caratterizzata da sabbie brunastre a cemento calcareo e da argille siltose grigio azzurre. Le sabbie si ritrovano principalmente nei pressi dell'abitato di Cirò, mentre le argille siltose si rinvengono a nord dell'area di studio lungo le scarpate dei terrazzi marini che costeggiano la S.S. 106 e lungo le incisioni dei corsi d'acqua minori.

I depositi pleistocenici sono rappresentati da sabbie e conglomerati bruno rossastri, che affiorano principalmente tra Cirò Marina e il Fiume Nicà e ricoprono i terrazzi marini paralleli alla linea di costa.

I sedimenti olocenici, infine, sono costituiti da dune sabbiose e da alluvioni. Il cordone di dune segue tutta la linea di costa tra Torretta di Crucoli e il Torrente Lipuda, mentre le alluvioni deposte dai principali corsi d'acqua formano, allo sbocco delle valli, dei con di deiezione.

L'evoluzione tettono-stratigrafica del Bacino di Crotona rappresenta un punto chiave per lo studio dell'evoluzione geodinamica dell'Arco Calabro (Van Dijk, 1991, 2000). In particolare, da un punto di vista tettonico, l'area di studio risulta interessata da una zona di taglio crostale con direzione NW-SE caratterizzata da movimenti sinistri denominata *shear-zone Rossano-San Nicola*; questa *shear-zone* insieme a quella individuata a sud del Bacino di Crotona e denominata *shear zone Petilia-Sosti* sarebbero correlate alla traslazione verso SE dell'Arco Calabro come conseguenza dell'apertura del Bacino Tirrenico centrale (Meulenkamp et al., 1986; Van Dijk, 1990, 1991). Inoltre, nell'area di studio sono presenti faglie normali appartenenti al sistema di faglie distensive ad andamento NNE-SSO attivate in conseguenza del sollevamento isostatico a cui è stato sottoposto l'intero Arco Calabro ed il Bacino di Crotona dal Pleistocene medio (Massari et al., 2002).

Le caratteristiche morfologiche dell'area in esame sono chiaramente derivanti dalla natura dei terreni che vi affiorano e dal loro assetto stratigrafico.

Da un punto di vista morfologico l'area può essere suddivisa in due zone procedendo dalla costa verso l'interno: la pianura costiera ed una zona di entroterra.

Il litorale è costituito da una spiaggia prevalentemente sabbiosa e lungo tutta la costa che va da Torretta di Crucoli fino al Torrente Lipuda è delimitato da un cordone di dune e sabbie eoliche ricoperte da vegetazione. Nei pressi di Punta Alice, in località Bosco dei Cacci e Vurghe, sono presenti dune stabilizzate con rimboschimenti misti di eucalipti e di pini. Tali località, come risulta dal rilievo aerofotogrammetrico del 1954, in passato erano interessate da zone paludose, generalmente inondate in inverno e più o meno sature d'acqua durante tutte le stagioni. Attualmente tali zone sono state bonificate, anche se nei periodi inver-

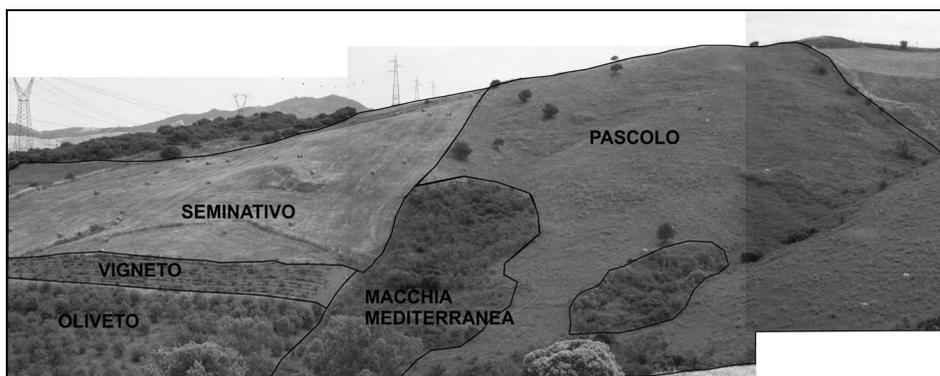
nali si creano degli acquitrini, dovuti alla presenza di aree depresse.

L'entroterra risulta caratterizzato da morfologie irregolari, con versanti che presentano evidente variabilità di pendenza. La zona si presenta essenzialmente collinare con forme d'insieme relativamente dolci, ma che nei dettagli possono essere anche molto accidentate per effetto della tendenza dei litotipi argillosi a sviluppare morfologie calanchive. Alcuni versanti, soprattutto quelli nei pressi di Torre Melissa, in cui affiorano le argille caotiche sono caratterizzati da una diffusa franosità e da intensi fenomeni erosivi. A nord dell'abitato di Cirò Marina la zona di entroterra è invece caratterizzata dalla presenza di una serie di terrazzi marini, alcuni dei quali ridotti a lembi residuali, interessati da profonde incisioni.

### 3. Analisi dei cambiamenti di uso del suolo

L'osservazione dei cambiamenti delle coperture del suolo e l'identificazione degli stadi dinamici in atto sono da tempo riconosciuti come strumenti indispensabili per individuare le tendenze evolutive del paesaggio, nonché per formulare eventuali ipotesi finalizzate alla gestione delle risorse ed alla pianificazione ambientale (Zavattero et al., 2006). Nell'ambito degli studi sulle dinamiche di cambiamento delle coperture, una delle metodologie maggiormente utilizzate è quella dell'analisi multitemporale del territorio mediante immagini telerilevate (foto aeree, scene satellitari) (Imbernon, 1999; Kakembo, 2003; Onorati et al, 2004; Di Gennaro et al., 2005; Iannetta et al., 2005; Zavattero et al., 2006; Fais, 2007).

Nell'area di studio l'analisi delle variazioni di uso del suolo è stata effettuata attraverso un'analisi fotointerpretativa basata sull'utilizzo di foto aeree, in bianco e nero, del 1954 e del 1991 in scala 1:33.000, realizzate dall'IGMI. Per i due periodi considerati si è così proceduto alla cartografazione dei diversi usi del suolo, utilizzando come base la carta topografica a scala 1:25.000 (Fig. 2).



**Fig. 2** – Esempio di cartografazione delle differenti classi di uso del suolo

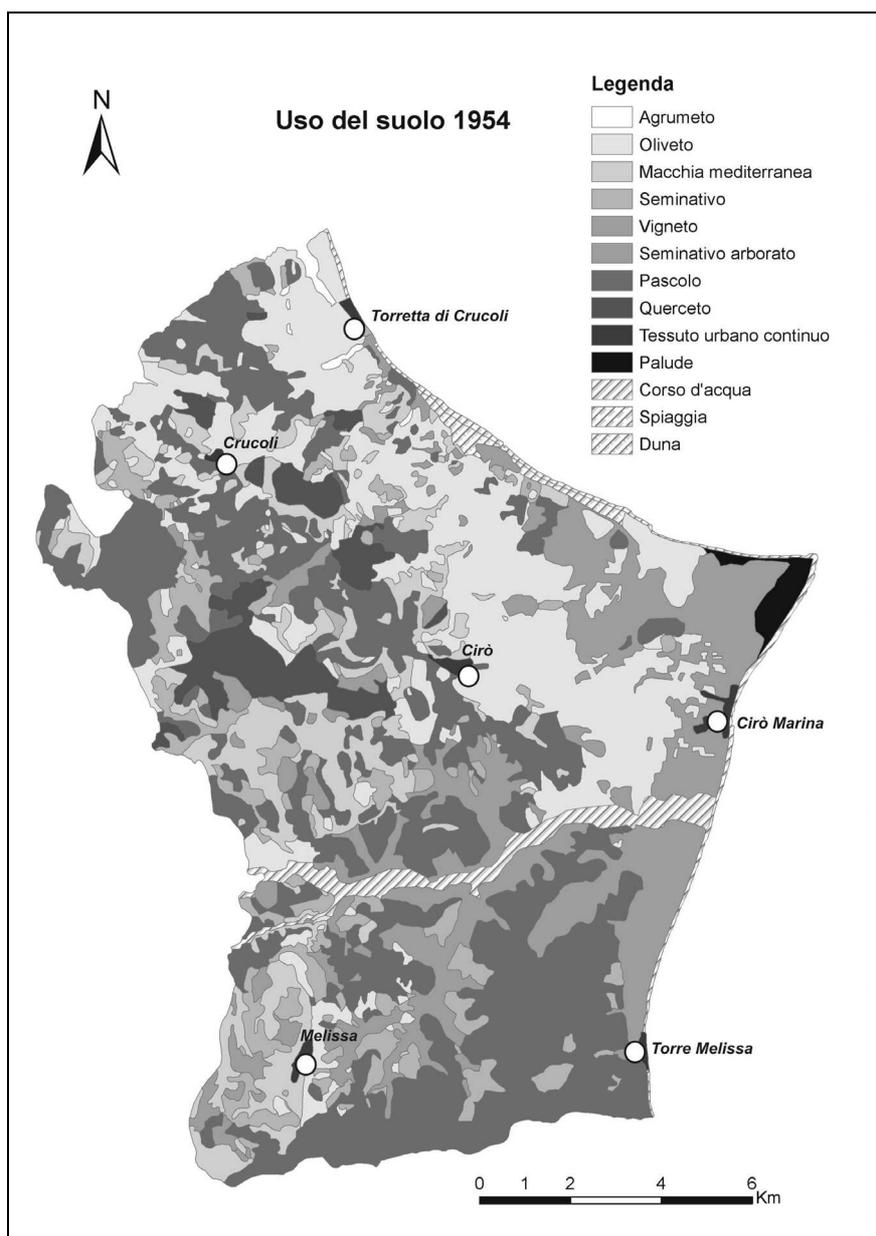
Per la classificazione delle aree a diverso uso del suolo è stata adottata la legenda del programma "CORINE LAND COVER", Progetto Europeo in cui le informazioni territoriali sono organizzate secondo una banca dati, derivata principalmente dall'interpretazione di immagini satellitari (Tab. 1).

Legenda utilizzata	Classificazione Corine	
	Codice	Descrizione
Tessuto urbano continuo	1.1.1	Spazi strutturati dagli edifici e dalla viabilità
Seminativo semplice	2.1	Superfici coltivate, arate e generalmente sottoposte ad un sistema di rotazione
Vigneti	2.2.1	Vigneti
Frutteti	2.2.2	Frutteti e frutti minori
Oliveti	2.2.3	Colture olivicole
Seminativo arborato	2.4.1	Colture temporanee (seminativi o prati) in associazione con colture permanenti sulla stessa superficie
Querceti	3.1.1.1	Boschi a prevalenza di querce ed altre latifoglie sempreverdi (leccio e sughera)
Rimboschimento di conifere	3.1.4.1	Rimboschimento di conifere
Rimboschimento di eucalitti	3.1.4.2	Rimboschimento di eucalitti
Rimboschimento misto	3.1.4.3	Rimboschimento misto
Pascolo	3.2.1	Aree foraggere a bassa produttività. Sono spesso situate in zone accidentate. Interessano spesso superfici rocciose rovereti e arbusteti. Sulle aree interessate dalla classe non sono di norma presenti limiti di particelle (siepi, muri, recinti)
Macchia mediterranea	3.2.3	Associazioni vegetali dense composte da numerose specie arbustive miste in ambiente mediterraneo
Spiagge	3.3.1	Le spiagge, le dune e le distese di sabbia e di ciottoli litorali e continentali, compresi i letti sassosi dei corsi di acqua a regime torrentizio
Paludi interne	4.1.1	Terre basse generalmente inondate in inverno e più o meno sature durante tutte le stagioni
Corsi d'acqua	5.1.1	Corsi d'acqua naturali o artificiali che servono per il deflusso delle acque.

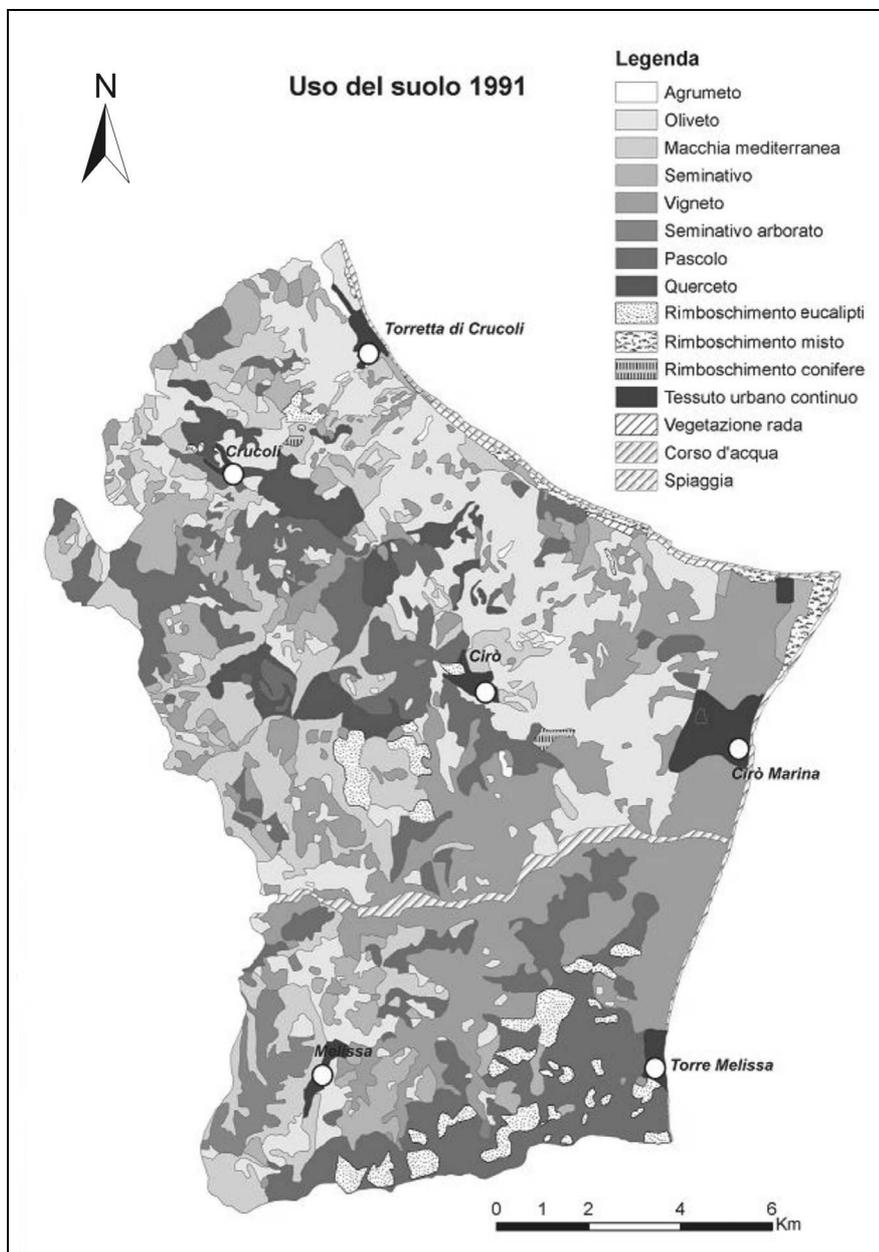
**Tab. 1** – Legenda utilizzata per la redazione delle carte di uso del suolo nell'area test

Sono state così ottenute per l'area test le carte dell'uso del suolo relative ai due periodi di riferimento (Figg. 3 e 4).

Dall'osservazione della carta del 1954 (Fig. 3) è evidente, per l'area di studio, un uso del suolo abbastanza diversificato.



**Fig. 3** – Carta dell'uso del suolo ottenuta tramite l'osservazione delle foto aeree del 1954



**Fig. 4** – Carta dell'uso del suolo ottenuta tramite l'osservazione delle foto aeree del 1991

In particolare, gli uliveti sono maggiormente presenti nella porzione nord-orientale della zona, mentre i vigneti si rinvencono principalmente lungo la fascia costiera tra gli abitati di Torre Melissa e Cirò Marina e lungo le aree pianeggianti che costeggiano il Torrente Lipuda. Le superfici adibite a seminativi,

di estensione areale minore rispetto alle precedenti colture, sono distribuite principalmente lungo il margine occidentale dell'area. Le aree adibite a pascolo, che presentano una maggiore predominanza in termini di estensione areale, si rinvergono principalmente nella porzione meridionale dell'area, a sud del Torrente Lipuda. La macchia mediterranea è presente quasi esclusivamente nella porzione centrale dell'area e nei pressi dei centri abitati di Crucoli, Cirò e Melissa. Infine, i querceti si rinvergono nella porzione centro-settentrionale dell'area di studio.

Dall'osservazione della carta di uso del suolo del 1991 (Fig. 4) e dal confronto con quella del 1954, non si rinvergono sostanziali variazioni nella distribuzione areale dei diversi usi del suolo. È possibile però notare una maggiore frammentazione delle aree adibite ai diversi usi nonché la presenza di aree soggette a rimboschimenti di conifere, rimboschimenti misti e rimboschimenti di eucalipti, quest'ultimi presenti principalmente della porzione meridionale dell'area di studio, a sud del Torrente Lipuda.

Per avere una visione completa delle variazioni occorse nell'area test, è stata presa in considerazione la carta dell'uso del suolo relativa al 2002, a scala 1:25.000, prodotta dall'Azienda Regionale per lo Sviluppo e per i Servizi in Agricoltura (ARSSA, 2002). Poiché dal confronto con la carta dell'uso del suolo relativa al 1991 non sono emerse rilevanti variazioni nel decennio preso in considerazione (1991-2002) si è deciso di non prendere in considerazione la carta del 2002 nella presentazione e discussione dei dati.

### **3.1 Risultati**

In tabella 2 sono riportate le frequenze areali delle diverse classi di uso del suolo in relazione all'area totale e le loro variazioni nell'arco di tempo preso in considerazione. I cambiamenti delle coperture più significativi riguardano essenzialmente il tessuto urbano continuo, i vigneti, i corsi d'acqua, il pascolo, i rimboschimenti e la macchia mediterranea.

Le dinamiche dei cambiamenti di uso del suolo sono state analizzate mediante la matrice di transizione riportata in figura 5. Le celle lungo la diagonale della matrice indicano le persistenze, cioè la superficie in ettari di ciascuna classe d'uso del suolo che dal 1954 al 1991 non ha subito cambiamenti.

L'analisi delle dinamiche delle coperture d'uso del suolo è stata eseguita effettuando delle semplificazioni rispetto alla legenda utilizzata per la redazione delle carte dell'uso del suolo (Tab 1). In particolare gli accorpamenti hanno riguardato i seminativi ed i seminativi arborati che sono stati raggruppati nella classe seminativi; gli oliveti e gli agrumeti sono stati raggruppati nella classe altre colture permanenti; la macchia mediterranea, i querceti, i rimboschimenti misti, i rimboschimenti di eucalipti ed i rimboschimenti di conifere sono stati raggruppati nella classe zone boscate e arbusteti; infine, le spiagge, le dune e la vegetazione rada sono state raggruppate nella classe zone aperte con vegetazione rada o assente.

Copertura uso del suolo	Area (ha) 1954	Area (ha) 1991	Saldo netto
Tessuto urbano continuo	134	485	+351
Seminativo	1586	1544	-42
Vigneto	3421	4639	+1218
Agrumeto	27	39	+12
Oliveto	4452	4415	-37
Seminativo arborato	332	325	-7
Pascolo	6360	3800	-2560
Macchia mediterranea	2007	2715	+708
Querceti	888	805	-83
Spiaggia	186	189	3
Duna	103	0	-103
Palude	141	0	-141
Corso d'acqua	443	223	-220
Vegetazione rada	0	68	+68
Rimboscimento misto	0	148	+148
Rimboscimento conifere	0	30	+30
Rimboscimento Eucalipto	0	6,5	+655

**Tab. 2** – Frequenza areale delle classi d'uso del suolo in relazione alla superficie totale dell'area di studio per l'anno 1954 e 1991 e loro confronto

	1954										Totale 1991
	Tessuto urbano continuo	Seminativi	Vigneti	Altre colture permanenti	Pascolo	Zone boscate e arbusteti	Zone aperte con vegetazione rada o assente	Palude	Corso d'acqua		
1991	Tessuto urbano continuo	127,89	4,68	163,17	159,84	13,50	13,86	2,70	0,00	0,00	485,64
	Seminativi	0,00	632,25	166,59	136,98	779,58	102,96	3,24	43,92	0,00	1865,52
	Vigneti	0,00	426,69	2565,90	383,58	889,56	171,81	5,67	4,23	189,72	4637,16
	Altre colture permanenti	0,45	334,35	323,82	3086,10	461,43	222,21	6,48	0,00	21,60	4456,44
	Pascolo	0,63	279,54	143,82	123,66	2925,99	309,69	1,44	0,00	8,82	3793,59
	Zone boscate e arbusteti	0,90	236,79	43,29	545,04	1266,48	2072,70	72,81	84,51	8,46	4330,98
	Zone aperte con vegetazione rada o assente	4,86	0,81	13,14	29,52	2,52	0,09	177,57	7,74	0,81	237,06
	Palude	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Corso d'acqua	0,00	2,25	2,61	3,87	0,00	0,90	0,00	0,00	211,59	221,22
	<b>Totale 1954</b>	<b>134,73</b>	<b>1917,36</b>	<b>3422,34</b>	<b>4468,59</b>	<b>6339,06</b>	<b>2894,22</b>	<b>269,91</b>	<b>140,40</b>	<b>441,00</b>	<b>20027,61</b>

**Fig. 5** – Matrice relativa ai cambiamenti di uso del suolo (espressi in ettari) osservati nel periodo 1954 – 1991

Dall'osservazione della matrice, le dinamiche di transizione maggiormente significative riguardano:

- dinamiche di forestazione che conducono ad un incremento delle zone boscate e arbusteti per trasformazione di una porzione considerevole di pascolo, colture permanenti (vigneti e oliveti) e seminativi. Tale trasformazione produce un impatto positivo sui processi di degrado del suolo e, quindi di desertificazione, dal momento che le zone boscate ed i rimboschimenti svolgono una funzione protettiva, capace di limitare i danni derivanti dall'erosione superficiale dei suoli;
- dinamiche di urbanizzazione che interessano maggiormente le aree con destinazione d'uso a vigneti ed altre colture permanenti. La conversione di aree agricole in tessuto urbano continuo ha un impatto negativo sui fenomeni di degrado del suolo e quindi di desertificazione, in quanto rappresenta la principale forma di perdita irreversibile di suolo, provocando la riduzione della superficie disponibile per lo svolgimento delle funzioni del suolo stesso;
- dinamiche di conversione delle aree adibite a pascolo in zone boscate, in seminativi, in vigneti ed in altre colture permanenti. Tali dinamiche hanno differenti impatti sui processi di degrado del suolo e, quindi di desertificazione. La riduzione della superficie adibita a pascolo dovrebbe avere un impatto positivo, dal momento che un eccessivo carico di bestiame porta sia ad una drastica riduzione della vegetazione, sia ad un elevato costipamento da calpestio del terreno, che conducono entrambi a condizioni di degrado del suolo molto spinte. Tuttavia tale diminuzione è compensata sia da aree adibite a vigneto, destinazione d'uso che offre una bassa resistenza all'erosione del suolo, sia da aree adibite a seminativo, che se arate con modalità non idonee (rittochino, aratura profonda,.....) favoriscono l'insorgere di fenomeni di degrado. Per contro, la conversione del pascolo in aree boscate determina un impatto positivo, in quanto i boschi, come detto in precedenza, svolgono una funzione protettiva, capace di limitare i danni derivanti dall'erosione superficiale dei suoli.

Gli impatti che le dinamiche di transizione fin qui discusse hanno sui processi di desertificazione, trovano riscontro nell'applicazione della metodologia ESAs all'area di studio (Coscarelli et al., 2007). Infatti, prendendo in considerazione la carta delle aree sensibili alla desertificazione (indice ESAI) emerge che le aree destinate ad uso "vigneto" (occupanti gran parte delle aree che nel 1954 erano adibite a pascolo), coincidono con le aree classificate "critiche" nell'applicazione della metodologia ESAs all'area di studio e che la maggior parte dei rimboschimenti coincide con le aree ricadenti nella classe "potenziale" dell'indice ESAI.

Sulla base delle dinamiche di transizione avvenute durante il periodo di osservazione (1954–1991) è stata costruita una matrice associando ad ogni cambiamento un diverso impatto sui processi di desertificazione (Fig. 6).

1991 1954	Tessuto urbano continuo	Seminativi	Vigneti	Altre colture permanenti	Pascolo	Zone boscate e arbusteti	Zone aperte con vegetazione rada o assente	Palude	Corso d'acqua
Tessuto urbano continuo	P	N	N	N	N	N	N	N	N
Seminativi	H	P	H	L	H	L	N	N	N
Vigneti	H	L	P	L	H	L	N	N	N
Altre colture permanenti	H	H	H	P	H	L	N	N	N
Pascolo	H	L	H	L	P	L	N	N	N
Zone boscate e arbusteti	H	H	H	N	H	P	N	N	N
Zone aperte con vegetazione rada o assente	H	N	N	L	N	L	P	N	N
Palude	N	N	N	N	N	L	N	P	N
Corso d'acqua	N	N	N	N	N	N	N	N	P

**Fig. 6** – Matrice che descrive gli impatti che i cambiamenti d'uso del suolo hanno sui processi di desertificazione

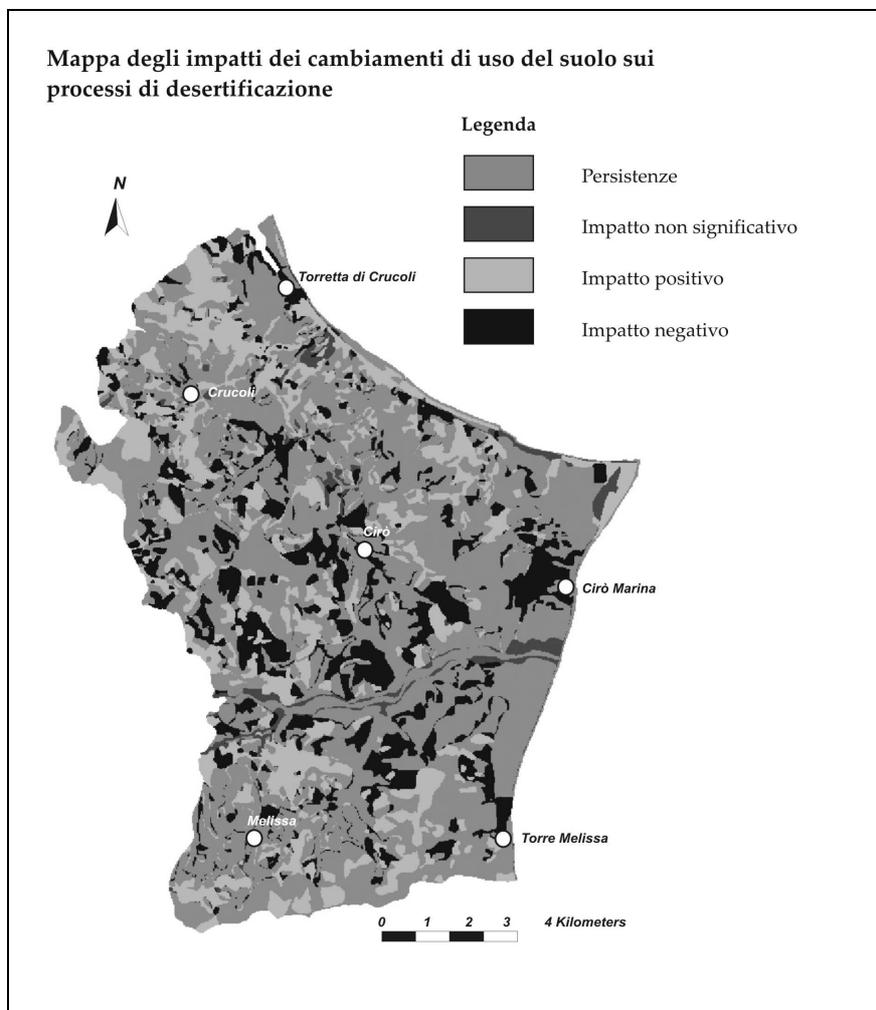
In particolare, con la lettera H è stato indicato un impatto negativo, mentre con la lettera L è stato indicato un impatto positivo. Le lettere N e P indicano rispettivamente nessun impatto significativo e le persistenze, ovvero le superfici di ciascuna classe d'uso del suolo che dal 1954 al 1991 non hanno subito cambiamenti. Per la costruzione di tale matrice si è fatto riferimento agli accorpamenti utilizzati nella costruzione della matrice di transizione.

Sulla base delle indicazioni fornite dalla matrice di impatto è stata generata la mappa di impatto delle variazioni d'uso del suolo sui processi di desertificazione (Fig. 7).

Dall'osservazione della mappa risulta che le aree con impatto negativo sui processi di desertificazione, che riguardano la conversione delle zone agricole in tessuto urbano (dinamiche di urbanizzazione) e la conversione delle aree adibite a pascolo in aree con destinazione d'uso "vigneto", presentano una distribuzione piuttosto uniforme nell'area oggetto di studio; tuttavia quelle che mostrano una maggiore estensione sono concentrate nella zona intermedia dell'area, a nord del Torrente Lipuda, comprendente gli abitati di Cirò e Cirò Marina.

#### 4. Analisi delle variazioni nella distribuzione delle aree soggette ad erosione

L'area oggetto di studio, data la presenza di litotipi altamente erodibili (argille marnose e siltose) e la presenza di zone caratterizzate da scarsa o non ade-



**Fig. 7** – *Mappa degli impatti dei cambiamenti d'uso del suolo sui processi di desertificazione*

guata copertura vegetale, risulta un'area dove i fenomeni erosivi agiscono con particolarmente intensità e complessità.

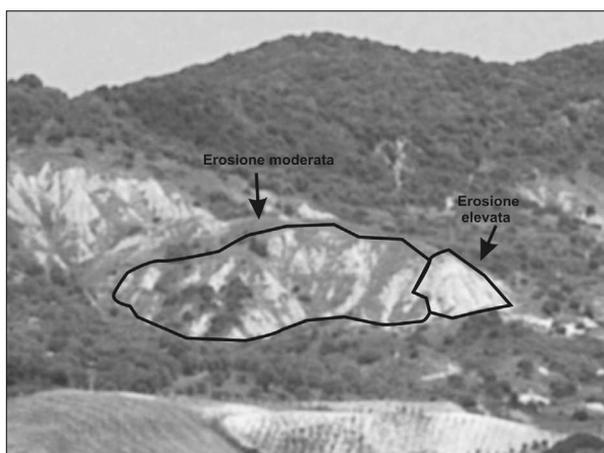
Ciò è testimoniato dalla presenza di calanchi, caratteristiche forme erosive prodotte dall'azione delle acque dilavanti e concentrate su terreni teneri, a cui si associano forme erosive, meno vistose, dovute all'attività antropica.

Al fine di dare un contributo alla conoscenza dei fenomeni di erosione che attualmente interessano l'area in oggetto è stato effettuato uno studio che ha riguardato l'analisi dei cambiamenti nella distribuzione delle aree soggette a diversi gradi di erosione.

L'analisi della variazione in termini di incidenza areale delle forme legate ai

processi di erosione è stata effettuata attraverso un'analisi fotointerpretativa utilizzando le foto aeree, in bianco e nero, del 1954 e del 1991 in scala 1:33.000, realizzate dall'IGMI.

Utilizzando come base la carta topografica a scala 1:25.000 sono state cartografate le aree a diverso grado di erosione (Fig. 8) adottando una classificazione che ha previsto la distinzione in tre classi principali (Tab. 3).



**Fig. 8** – Esempio di cartografia delle differenti classi di erosione

Classi	Descrizione
Aree ad elevato grado di erosione	Zone ad intensa erosione calanchiva e caratterizzate dalla totale assenza di vegetazione
Aree a moderato grado di erosione	Zone in cui sono presenti sia aree ad erosione calanchiva, sia la copertura vegetale
Aree a debole grado di erosione	Zone a parziale copertura vegetale, in cui sono assenti fenomeni erosivi di tipo calanchivo, ma sono riconoscibili aree con moderata asportazione di suolo.

**Tab. 3** – Classificazione utilizzata per la redazione della carta dell'erosione

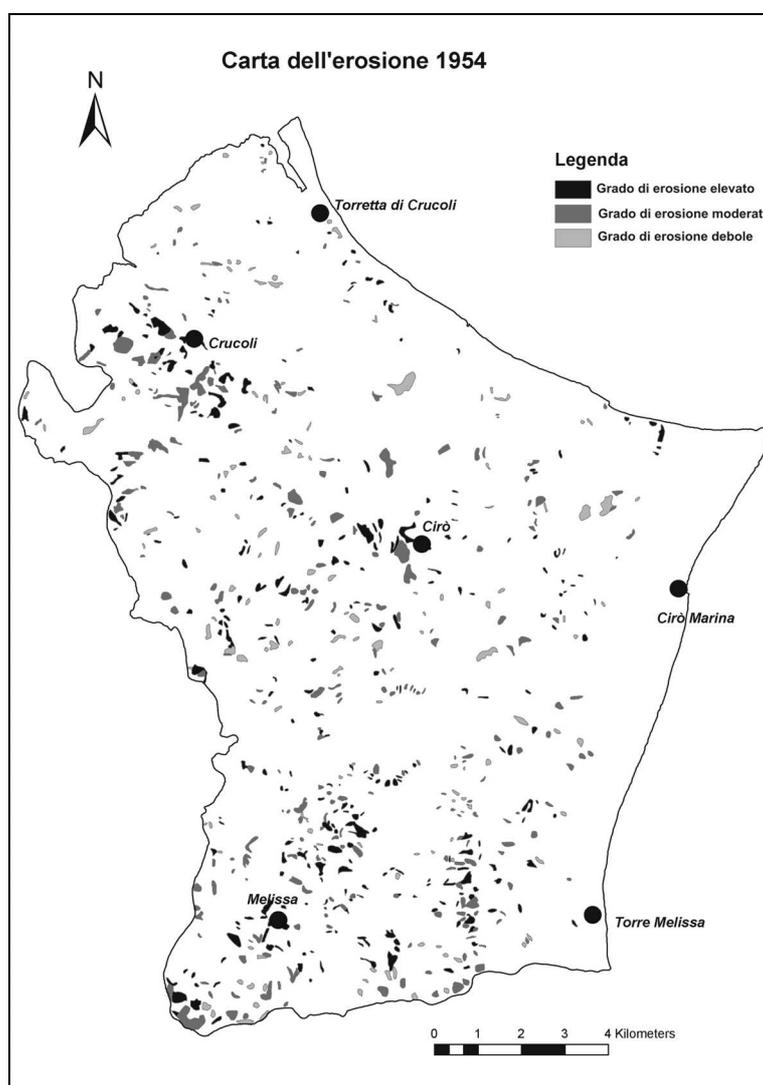
Il diverso grado di erosione (non l'intensità dei processi) è stato stimato visivamente basandosi sulla presenza di forme calanchive, di marcate incisioni, di vegetazione rada. I limiti tra le classi è stato definito in base al rapporto presenza di copertura vegetale/area nuda.

Sono state così ottenute per l'area in esame le carte del grado di erosione relative ai due periodi di riferimento (Figg. 9 e 10).

Dall'osservazione della carta dell'erosione del 1954 (Fig. 9) è evidente una distribuzione piuttosto uniforme nell'area di studio delle aree corrispondenti alle tre classi d'erosione ad eccezione della pianura costiera tra Punta Alice e Torre Melissa che non risulta interessata da nessuna forma di erosione. Le aree a moderato ed elevato grado di erosione, tuttavia, presentano una maggiore concentrazione in corrispondenza dei centri abitati di Crucoli e di Cirò e ad ovest dell'abitato di Torre Melissa, nei pressi di Serra dell'Alivento. In tali zone affiorano le argille siltose e marnose del Miocene e le argille policrome del Mio-

cene medio–superiore; tali litologie oltre ad essere soggette ad intensi processi erosivi e ad una diffusa franosità superficiale tendono a sviluppare caratteristiche morfologie calanchive.

Dall’osservazione della carta relativa al 1991 (Fig. 10) risulta una distribuzione non uniforme delle aree corrispondenti alle tre classi di erosione considerate: la fascia costiera che comprende Torretta di Crucoli, Cirò Marina e Torre Melissa fino agli abitati di Crucoli e Cirò non è interessata da fenomeni erosivi rilevanti a differenza della fascia interna in cui si ha una concentrazione di aree ad elevato e moderato grado di erosione.



**Fig. 9** – Carta del grado di erosione ottenuta tramite l’osservazione delle foto aeree del 1954

#### 4.1 Risultati

Per i due anni di osservazione è stata calcolata la frequenza areale delle tre classi di erosione in relazione all'area totale in esame. I risultati sono rappresentati negli istogrammi delle figure 11 e 12.

Nel 1954 l'area totale interessata da erosione è risultata pari al 4,8% rispetto a tutta l'area in esame; in particolare l'area a moderato grado di erosione risulta essere maggiore (2,0%) rispetto a quella ad elevato e a debole grado di erosione, rispettivamente circa dell'1,9 % e dello 0,9%.

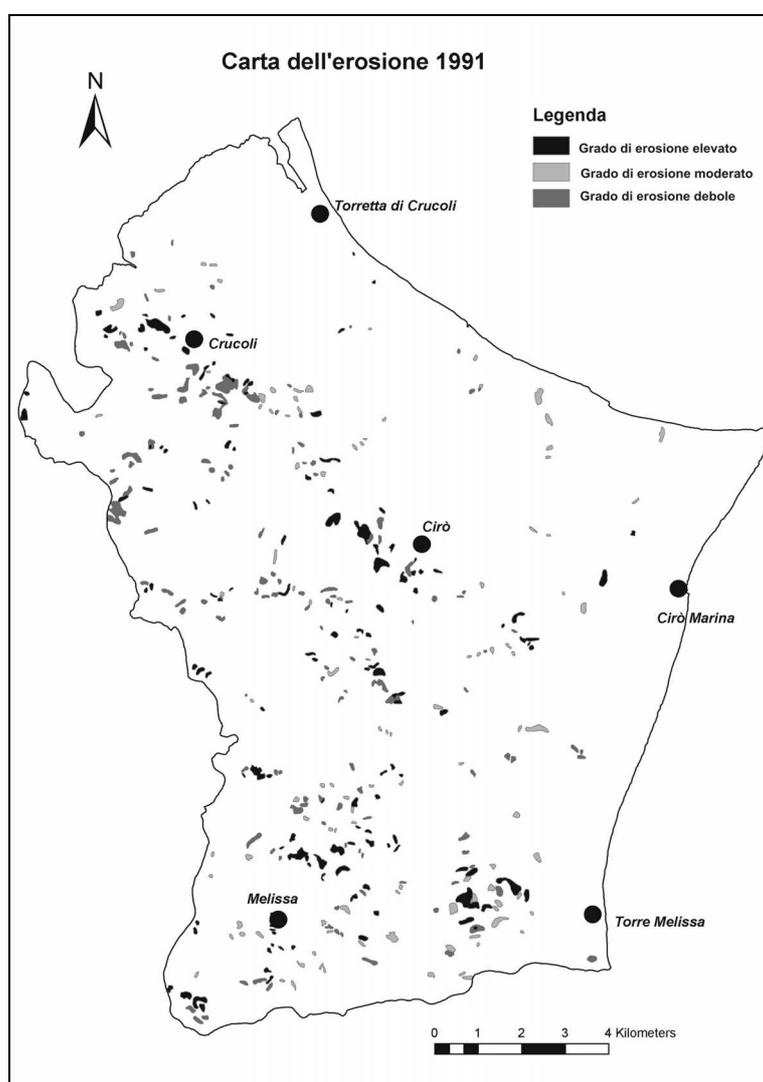
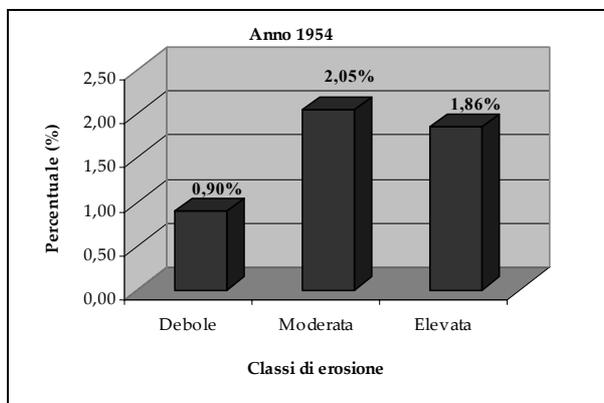
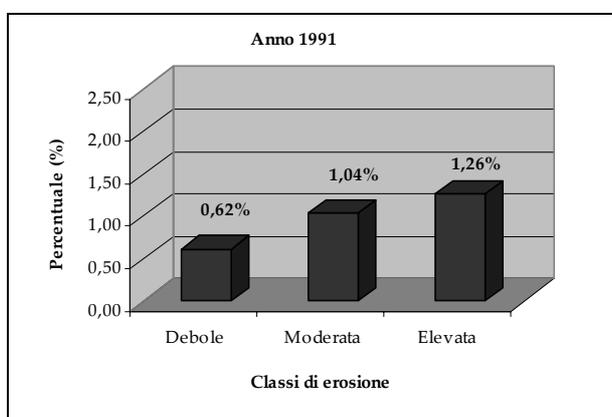


Fig. 10 – Carta del grado di erosione ottenuta tramite l'osservazione delle foto aeree del 1991



**Fig. 11** – Frequenza areale delle classi d'erosione rispetto all'area di studio (1954)



**Fig. 12** – Frequenza areale delle classi d'erosione rispetto all'area di studio (1991)

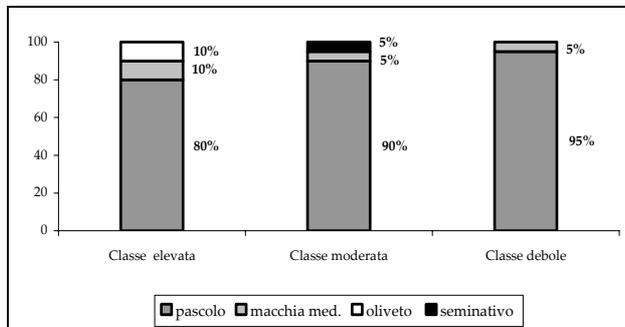
Nel 1991 l'area totale interessata da erosione è risultata pari al 2,9% rispetto a tutta l'area in esame; la classe ad elevato grado di erosione presenta una percentuale, anche se di poco, maggiore (circa 1,3%) rispetto alla classe a moderato grado di erosione (1,0%) e a debole grado di erosione (0,6%).

Dal confronto dei dati ottenuti dall'analisi dei due periodi di osservazione è riscontrabile nell'area oggetto di studio una variazione in termini d'incidenza areale delle forme legate ai processi d'erosione. Si passa, infatti, da una percentuale del 4,81 nel 1954 ad una percentuale del 2,91 nel 1991, che equivale per l'area di studio ad una diminuzione quasi del 50% di area soggetta ai diversi gradi di erosione. Tale importante diminuzione dipende, in parte, dal fatto che la levata aerea del 1954, utilizzata per la redazione della carta dell'erosione, è stata prodotta successivamente agli eventi piovosi particolarmente intensi che hanno colpito la Calabria centro-meridionale nell'ottobre del 1951 e del 1953 e che hanno prodotto sul territorio, oltre a diffusi fenomeni franosi, anche diffusi ed intensi fenomeni erosivi. Le foto aeree del 1954, dunque, forniscono lo scenario degli effetti provocati sul territorio da eventi meteorologici importanti, a differenza delle foto aeree del 1991 che sono state prodotte in un periodo preceduto da eventi piovosi non particolarmente severi. Un'ulteriore diminuzione delle aree

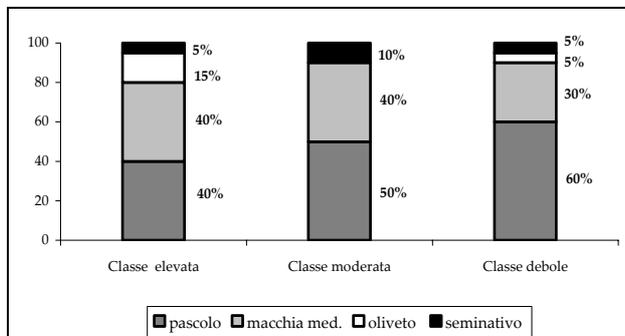
soggette ad erosione è inoltre imputabile ai rimboschimenti di eucalipto effettuati nella porzione meridionale dell'area di studio intorno alla metà degli anni '50.

Al fine di individuare le destinazioni d'uso più suscettibili ai processi erosivi è stato effettuato, per l'area di studio, un incrocio tra le carte del grado di erosione e le carte relative all'uso del suolo.

Dall'osservazione delle figure 13 e 14, si evince che le aree interessate da processi erosivi sono quelle destinate a pascolo, macchia mediterranea, seminativo ed oliveto. In particolare, le destinazioni d'uso maggiormente suscettibili risultano essere per il 1954 il pascolo, mentre per il 1991 il pascolo e la macchia mediterranea. L'alta incidenza di aree in erosione nelle zone adibite a pascolo conferma l'azione negativa del pascolo non controllato razionalmente rispetto ai fenomeni erosivi a causa della riduzione della vegetazione e dell'azione di calpestio degli animali.



**Fig. 13** – Distribuzione dei diversi usi del suolo rispetto alle tre classi di erosione (1954)



**Fig. 14** – Distribuzione dei diversi usi del suolo rispetto alle tre classi di erosione (1991)

## 5. Conclusioni

Nel presente lavoro sono state analizzate le variazioni d'uso del suolo nonché i cambiamenti nella distribuzione delle aree soggette a diversi gradi di erosione in un'area che ricade nel comprensorio del Cirò DOC (provincia di Crotona) mediante l'utilizzo di foto aeree relative a due periodi di riferimento (1954 e 1991) con lo scopo di determinare quei cambiamenti che possono considerarsi fattori innescanti di fenomeni di degrado del suolo.

In particolare, l'analisi delle variazioni dell'uso del suolo nell'area di studio ha evidenziato un aumento della superficie del tessuto urbano continuo e l'incremento dei vigneti. Entrambi i cambiamenti sono sicuramente influenzanti il degrado, in quanto il primo determina una perdita irreversibile di suolo, il secondo causa una bassa resistenza ai fenomeni di erosione.

Relativamente alla seconda problematica, confrontando i risultati ottenuti per i due diversi periodi, è stata riscontrata nell'area oggetto di studio una variazione in termini d'incidenza areale delle forme legate a fenomeni erosivi. Nel 1954 è stata riscontrata una maggiore percentuale di area in erosione rispetto al 1991; ciò è legato sia al fatto che le foto aeree del 1954 utilizzate sono state scattate dopo un periodo in cui si sono verificati eventi piovosi importanti che hanno causato diffusi ed intensi processi di erosione nel territorio, sia alle opere di riforestazione effettuate a partire dagli anni '50 nell'area di studio.

Infine, confrontando la distribuzione delle tre classi del grado di erosione rispetto all'uso del suolo, è risultato che le aree maggiormente suscettibili al fenomeno erosivo sono quelle adibite ad uso pascolo e, marginalmente, le aree a macchia mediterranea

Il lavoro, dunque, può considerarsi un esempio di analisi del territorio che, con la conoscenza dell'uso del suolo e dei suoi cambiamenti, nonché con la conoscenza della distribuzione e delle aree maggiormente soggette a fenomeni erosivi, fornisce un quadro delle principali attività umane in essere su una specifica area, dalla cui analisi scaturiscono anche le implicazioni che le attività antropiche esercitano sulle risorse ambientali.

#### RINGRAZIAMENTI

*Gli Autori desiderano ringraziare Emilio Catalano (CNR-IRPI) e Vittorio Gagliardi (Epsilon-Italia) per il prezioso aiuto fornito nell'implementazione del GIS e nella fase di elaborazione dei dati.*

#### Bibliografia

- ARSSA (2002). *Carta dei Suoli e Zonazione Viticola del Cirò DOC (scala 1:25.000)*. Monografia Divulgativa.
- ARSSA (2005). *Carta del rischio di erosione attuale e potenziale della regione Calabria (scala 1:250.000)*. Monografia Divulgativa, Editrice Cerbone, Napoli.
- Ciaranfi N., Francescangeli R., Rapisardi L. (1982). *Osservazioni sulla neotettonica dei fogli 237 "S. Giovanni in Fiore" e 238 "Crotone"*. Contrib. Concl. Realizzazione Carta Neotett. d'Italia, Pubbl. Progetto Finalizzato Geodin. 513, pp.405-425.
- Colonna N., Ferrara V., Grauso S., Iannetta M., Sciortino M., Svalduz A. (2000). *La lotta alla desertificazione in Italia e nel bacino del Mediterraneo*. Energia, Ambiente & Innovazione 2, pp.29-40.
- Commissione delle Comunità Europee (2002). *Comunicazione della commissione al consiglio e al parlamento europeo, al comitato economico e sociale e al comitato delle regioni – Verso una strategia tematica per la protezione del suolo*. Bruxelles.
- Kosmas C., Kirkby M., Geeson N. (1999). *Manual on key indicators of desertification and mapping environmentally sensitive areas to desertification. In: the MEDALUS project – Mediterranean desertification and land use*. European Commission, Brussels.
- Coscarelli R., Minervino I., Sorriso-Valvo M. (2005). *Methods for characterization of areas sensitive to desertification: A critical review and first results for the Calabrian territory*

- (Southern Italy). In: R.J. Batalla, C. Garcia (Eds.) *Geomorphological Processes and Human Impacts in River Basin* (Proceedings of the International Conference "River/catchments dynamics: natural processes and human impacts", Solsona (Catalonia, Spain), 15-20 May 2004). IAHS Red Books, Publication 299.
- Coscarelli R., Ceccanti B., Masciandaro G., Minervino I., Sorriso-Valvo M. (2007). *Applicazione della metodologia ESAs in un'area campione e validazione con dati di campo*. Presente Volume.
- Duermeijer C.E., Van Vugt N., Langereis C.G., Meulenkamp J.E., Zachariasse W.J. (1998) *A major late Tortonian rotation phase in the Croton basin using AMS as tectonic tilt correction and timing of the opening of the Tyrrhenian basin*. *Tectonophysics* 287, pp. 233-249.
- Di Gennaro A., Innamorato F., Capone S. (2005). *La grande trasformazione: land cover e land use in Campania*. *Estimo e Territorio* 3, pp. 25-39.
- EEA (2002). *Assessment and reporting on soil erosion*. Technical Report N.94.
- EEA-UNEP (2000). *Down to earth: Soil degradation and sustainable development in Europe. A challenge for the 21st century*. Environmental issues series N.6., Luxembourg.
- Fais A. (2007). *L'interazione tra i cambiamenti climatici e gli aspetti socioeconomici nella definizione dei meccanismi di desertificazione e degradazione dei suoli: il progetto DeSurvey*. *Agriregionieuropa*, 3(9). <http://www.agrregionieuropa.it/>.
- Giordano A. (1994). *Valutazione del rischio di erosione del suolo nell'ambiente mediterraneo*. Programma CORINE della CEE. Atti del IV Convegno Internazionale di Geoingegneria Difesa e Valorizzazione del Suolo e degli Acquiferi, Torino, 10-11 Marzo 1994, pp.151-160.
- Grimm M., Jones R.J.A., Rusco E., Montanarella L. (2002). *Soil erosion risk in Italy using USLE with modified input factors for erosivity and erodibility*. Joint Research Centre, Ispra, Italy.
- Grimm M., Jones R.J.A., Rusco E., Montanarella L. (2003). *Soil erosion risk in Italy: a revised USLE approach*. European Soil Bureau Research Report N. 11.
- Iannetta M., Enne G., Zucca C., Colonna N., Innamorato F., Di Gennaro A. (2005). *Il progetto Riade: i processi di degrado delle risorse naturali in Italia ed i possibili interventi di mitigazione*. *AGEI – Geoterma* 25, pp.99-108.
- Imbernon J. (1999). *Pattern and development of land-use changes in the Kenyan highlands since the 1950s*. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 79, pp.67-73.
- Kakembo V., Rowntree K.M. (2003). *The relationship between land use and soil erosion in the communal land near Peddie Town, Eastern Cape, South Africa*. *Land Degradation & Development* 14, pp.39-49.
- Knott S.D., Turco E. (1991). *Late Cenozoic kinematics of the Calabrian Arc, southern Italy*. *Tectonics* 10, pp.1164-1172.
- Malinverno A., Ryan W.B.F. (1986). *Extension in the Tyrrhenian Sea and shortening in the Apennines as a result of arc migration driven by sinking of the lithosphere*. *Tectonics* 5, pp.227-245.
- Massari F., Rio D., Sgavetti M., Prosser G., D'Alessandro A., Asioli A., Capraro L., Fornaciari E., Tateo F. (2002). *Interplay between tectonics and glacio-eustasy: Pleistocene succession of the Croton basin, Calabria (southern Italy)*. *Geol. Soc. Amer. Bull.* 114/10, pp.1183-1209.
- Mattei M., Cipollari P., Cosentino D., Argentieri A., Rossetti F., Speranza F., 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, pp.147-168.
- Montanarella L. (2005). *La strategia tematica per il suolo dell'Unione Europea e le sue applicazioni per la lotta alla desertificazione*. *AGEI – Geoterma* 25, pp.90-98.
- Moretti A. (1993). *Note sull'evoluzione tettono-stratigrafica del bacino crotonese dopo la fine del Miocene*. *Boll. Soc. Geol. Ital.* 112, pp.845-867.
- Moussat E., Rehault J.P., Fabbri, A. (1986). *Rifting et évolution tectono-sédimentaire du Bassin tyrrhénien au cours du Néogène et du Quaternaire*. In: M. Boccaletti, R. Gelati, F. Ricci

- Lucchi (Eds) Paleogeography and geodynamics of the perityrrhenian area, *Giornale di Geologia* vol. 48, pp.41–62.
- Onorati G., Di Gennaro A., Innamorato F., Tramontano E., Di Meo T., Filazzola M.T., Siciliano A. (2004). *Analisi dei cambiamenti nella copertura delle terre in Italia nel periodo 1990 – 2000 tramite CLC: nota preliminare*. Documenti del Territorio 55/2004, Centro Interreg. di Coord. e Documentazione, Roma.
- Patacca E., Sartori R., Scandone P. (1990). *Tyrrhenian Basin and Apenninic Arcs: kinematics relations since Late Tortonian times*. *Mem. Soc. Geol. Ital.* 45, pp.425–451.
- Pimentel D., Harvey C., Resosudarmo P., Sinclair K., Kurz D., McNair M., Crist S., Shpritz L., Fitton L., Saffouri R., Blair R. (1995). *Environmental and economic cost of soil erosion and conservation benefits*. *Science* 267, pp.1117–1123.
- Rehault J.P., Moussat E., Fabbri A. (1987). *Structural evolution of the Tyrrhenian back-arc basin*. *Mar. Geol.* 74, pp.123–150.
- Roda C. (1964). *Distribuzione e facies dei sedimenti Neogenici nel Bacino Crotonese*. *Geol. Rom.* 3, pp.319–366.
- Van der Knijff J.M., Jones R.J.A., Montanarella, L. (1999). *Soil erosion risk assessment in Italy*. European Soil Bureau. EUR 19044 EN.
- Van der Knijff J.M., Jones R.J.A., Montanarella L. (2002). *Soil Erosion Risk Assessment in Italy*. In: Rubio J.L., Morgan R.P.C., Asins S., Andreu V. (Eds). *Proceedings of the third International Congress Man and Soil at the Third Millennium*. Geoforma Ediciones, Logrono. pp.1903–1913.
- Van Dijk J.P. (1990). *Sequence stratigraphy, kinematics and dynamic geohistory of the Crotone Basin (Calabria 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 Crotone Basin*. *Geol. Mijnb.* 70, pp.187–201.
- Van Dijk J.P., Scheepers P.J.J. (1995). *Neotectonic rotations in the Calabrian Arc; implications for a Pliocene–Recent geodynamic scenario for the Central Mediterranean*. *Earth-Sci. Rev.* 39, pp.207–246.
- Zavattero L., Casti M., Bacchetta G., Di Pietro R. (2006). *Analisi multitemporale del paesaggio del distretto minerario di Monteponi (Sardegna sud – occidentale)*. *Rivista italiana di telerilevamento* 37, pp.137 – 146.
- Zecchin M., Massari F., Mellere D., Prosser G. (2003). *Architectural styles of prograding wedges in a tectonically active setting, Crotone Basin, southern Italy*. *J. Geol. Soc. (Lond.)* 160, pp.863–880.
- Zecchin M., Massari F., Mellere D., Prosser G. (2004). *Anatomy and evolution of a Mediterranean-type fault bounded basin: the Lower Pliocene of the northern Crotone Basin (southern Italy)*. *Basin Res.* 16, pp.117–143.
- Zecchin M., Nalin R., Roda C. (2004). *Raised Pleistocene marine terraces of the Crotone peninsula (Calabria, southern Italy): facies analysis and organization of their deposits*. *Sedimentary Geology* 172 (2), pp.165–185.

#### Siti consultati:

- [www.aigacos.it](http://www.aigacos.it)  
[www.apat.it](http://www.apat.it)  
[www.ctntes.arpa.piemonte.it](http://www.ctntes.arpa.piemonte.it)  
[www.lamma-cres.rete.toscana.it](http://www.lamma-cres.rete.toscana.it)  
[www.risorsa.info](http://www.risorsa.info)  
[www.sister.it/itaCorine/Corine/progettocorine.htm](http://www.sister.it/itaCorine/Corine/progettocorine.htm)

# TECNICHE DI TELERILEVAMENTO SATELLITARE PER LA STIMA DEGLI IMPATTI SULLA SENSIBILITÀ ALLA DESERTIFICAZIONE CAUSATI DALLE DINAMICHE DELLA COPERTURA VEGETALE

*Satellite remote sensing techniques to assess impacts  
on desertification sensitivity caused by vegetation cover dynamics*

G. Martirano<sup>1</sup>, V. Gagliardi<sup>1</sup>, R. Coscarelli<sup>2</sup>

---

## Sommario

---

Il presente lavoro illustra alcune tecniche di telerilevamento da satellite per la stima degli impatti sulla sensibilità alla desertificazione causati dalle dinamiche della copertura vegetale. Queste ultime sono state ottenute mediante elaborazione ed analisi di dataset multispettrali multitemporali del sensore TM (*Thematic Mapper*) a bordo del satellite Landsat5, durante un periodo di osservazione di 20 anni, dal 1984 al 2004. Per ciascuna delle 4 scene disponibili (luglio 1984, aprile 1990, luglio 1998, luglio 2004) è stato estratto l'indice di vegetazione differenziale normalizzato NDVI e, utilizzando tecniche di *level thresholding*, sono stati proposti due diversi metodi per identificare all'interno di un'area di studio zone caratterizzate da gradi diversi di copertura vegetale. Successivamente, mediante analisi multitemporali pixel-to-pixel sulla persistenza di copertura vegetale o sulle sue transizioni da un grado ad un altro, l'intera area di studio è stata classificata utilizzando due diversi criteri, uno per ciascuno dei due metodi proposti, in funzione degli impatti sulla sensibilità alla desertificazione causati dalle dinamiche della copertura vegetale. È stato inoltre effettuato un confronto tra i risultati ottenuti con le tecniche proposte e quelli ottenuti con altri dati disponibili per l'area di studio, una prima volta utilizzando i dati di copertura/uso del suolo del progetto Corine Land Cover ed una seconda volta utilizzando i dati di copertura/uso del suolo ricavati dal CNR-IRPI, sede di Cosenza, mediante foto-interpretazione di foto aeree.

---

## Summary

---

In the present paper remote sensing techniques to assess impacts on desertification sensitivity caused by vegetation cover dynamics are presented. The latter have been obtained by means of processing and analysis of multispectral multitemporal datasets of the TM (*Thematic Mapper*) sensor on board on

---

<sup>1</sup> EPSILON Italia srl

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

the Landsat 5 satellite, during a 20 years period, from 1984 to 2004. For each of the 4 scenes available (july 1984, april 1990, july 1998, july 2004) the Normalised Differential Vegetation Index NDVI has been extracted and, using level thresholding techniques, two different methods have been proposed in order to identify inside a study area zones characterised by different levels of vegetation cover. Then, the entire study area has been classified using two different criteria, one for each of the two proposed methods, according to the impacts on the desertification sensitivity caused by vegetation cover dynamics, by means of multitemporal pixel-to-pixel analyses on the vegetation cover persistence or on its transitions from different levels. In addition, the results obtained with the proposed techniques have been compared with those obtained with other data available for the study area, first using land cover/land use data of the Corine Land Cover project and second using land cover/land use data obtained by CNR-IRPI (Cosenza) by means of aerial photo interpretation.

## 1. Introduzione

Il tema della stima delle aree sensibili alla desertificazione è affrontato dalla comunità scientifica internazionale utilizzando per lo più tecniche e metodologie basate sulla classificazione di un'area di studio in base al valore assunto per ogni pixel da indicatori composti ottenuti dall'aggregazione di indicatori elementari. Questi ultimi sono a loro volta ottenuti attribuendo ad un set di variabili geo-bio-fisiche, ritenute idonee a rappresentare il fenomeno desertificazione, opportuni valori, ricavati da dati di letteratura e/o a seguito di analisi spaziali effettuate su dati ottenuti da indagini in situ e/o da osservazioni remote (Enne e Zucca, 2000; Ferrara et al., 2004; Kosmas et al., 1999; Minervino e Coscarelli, 2005; Colombo et al., 2006).

Nel filone di attività condotte nell'ambito del progetto di ricerca ISPARIDE descritte nel presente lavoro, sono presentate alcune tecniche di telerilevamento da satellite per la stima degli impatti sulla sensibilità alla desertificazione causati dalle dinamiche della copertura vegetale. L'obiettivo principale è quello di fornire un ulteriore contributo al vivace dibattito in corso sulla lotta alla siccità ed alla desertificazione, mettendo in luce le potenzialità offerte dal telerilevamento satellitare nella messa a punto di metodi e strumenti per la valutazione qualitativa e quantitativa dei fenomeni legati alla desertificazione (Sarmap et al., 2003).

Dopo un inquadramento generale, descrivendo l'area di studio, i dati satellitari, il periodo di osservazione e la scala temporale, vengono descritte le elaborazioni e le analisi dei dataset multispettrali multitemporali che hanno portato alla generazione di un unico dataset contenente l'indice di vegetazione differenziale normalizzato NDVI multitemporale. Viene inoltre descritta la tecnica, basata sull'applicazione di algoritmi di *level thresholding* all'indice di vegetazione NDVI, utilizzata per discriminare zone caratterizzate da un diverso grado di copertura vegetale.

È quindi proposto un primo metodo per la stima degli impatti sulla sensibi-

lità alla desertificazione causati dalle dinamiche della copertura vegetale, consistente nell'assegnare un diverso impatto a ciascun pixel dell'area di studio, in funzione della persistenza di copertura vegetale o delle sue transizioni da un grado ad un altro. I risultati ottenuti con il metodo proposto vengono confrontati con quelli ottenuti con altri dati disponibili per l'area di studio, una prima volta utilizzando i dati di copertura/uso del suolo del progetto Corine Land Cover ed una seconda volta utilizzando i dati di copertura/uso del suolo ricavati dal CNR-IRPI, sede di Cosenza, mediante foto-interpretazione di foto aeree (Antronico e Scarpelli, 2007).

Infine è presentato un secondo metodo per la stima degli impatti sulla sensibilità alla desertificazione causati dalle dinamiche della copertura vegetale, basato questa volta sulle variazioni relative di NDVI.

## 2. Inquadramento generale

### 2.1 L'area di studio

L'area di studio, illustrata nella figura 1, è estesa 250 Km<sup>2</sup> circa, ricade nel comprensorio del "Cirò D.O.C.", dal nome dell'omonimo vino prodotto nella zona, in provincia di Crotona in Calabria, e coincide con quella interessata da numerosi studi ed indagini effettuate dal CNR-IRPI di Cosenza (Coscarelli et al., 2005) e ulteriormente indagata nell'ambito del progetto di ricerca "ISPARIDE".

### 2.2 I dati satellitari, il periodo di osservazione e la scala temporale

Per effettuare analisi a scala spaziale locale sulle dinamiche della copertura vegetale mediante elaborazioni di indici di vegetazione ottenuti a partire da dati



**Fig. 1** – Area di studio

multispettrali multitemporale (Giannico, 2002), il sensore TM Thematic Mapper, operativo a partire dal 1984 a bordo del satellite LANDSAT 5, è senza dubbio quello più idoneo, in virtù delle sue caratteristiche: alta risoluzione spaziale (30 m di risoluzione geometrica), alta frequenza di rivisitazione (16 giorni) con conseguente ampia disponibilità teorica di scene per l'area di studio, sufficiente risoluzione spettrale (da 60 a 140 nm nelle bande del visibile e dell'infrarosso vicino), operatività a partire dal 1984 con conseguente disponibilità di serie storiche di oltre venti anni e, non da ultimo, costi contenuti dei dati grezzi (dell'ordine dei decimi di euro per Km<sup>2</sup>).

Poiché i processi di desertificazione sono intrinsecamente caratterizzati da una dinamica temporale, una loro migliore comprensione è facilitata da un'analisi nel tempo, oltre che nello spazio, delle relative variabili geo-biofisiche e degli indicatori ad esse associati. A tal fine, è stato necessario definire sia il periodo di osservazione che la scala temporale di studio.

Per quanto riguarda il primo aspetto, per soddisfare i requisiti relativi ai metodi proposti basati sulla disponibilità di dataset satellitari ad alta risoluzione spaziale del sensore TM, è stato scelto un periodo di osservazione satellitare ventennale tra il 1984 ed il 2004.

Per quanto riguarda la scala temporale, tenuto conto della intrinseca lentezza dei fenomeni di desertificazione e della effettiva disponibilità di scene relative all'area di studio prive di copertura nuvolosa, il periodo di osservazione prescelto è stato campionato con 4 osservazioni, relative a 4 scene risalenti rispettivamente a luglio 1984, aprile 1990, luglio 1998 e luglio 2004. Nella selezione delle scene si è cercato di fare in modo che le osservazioni nei diversi anni fossero relative agli stessi periodi, in maniera tale da minimizzare il contributo dato alle dinamiche della copertura vegetale dalla variabilità dei cicli fenologici annuali della vegetazione stessa. Purtroppo per il 1990 non ci sono per l'area di interesse scene disponibili nel periodo estivo prive di copertura nuvolosa, e quindi è stata selezionata una scena del mese di aprile.

È stata inoltre acquisita una quinta scena relativa a luglio 2000, utilizzata esclusivamente per confrontare i risultati ottenuti con le tecniche proposte con quelli ottenuti con altri dati disponibili per l'area di studio relativi all'anno 2000. Questa scena del 2000 è stata invece esclusa dalla serie temporale utilizzata per analizzare il periodo di osservazione, per minimizzare l'irregolarità della serie stessa.

I dati grezzi Landsat TM sono stati acquistati dal distributore al livello di pre-processamento 1G (corretti radiometricamente e geometricamente con ricampionamento *Nearest Neighbour*) ed in corrispondenza delle coordinate 187-33 (*path* e *row*) nel GRS (*Grid Reference System*) di Landsat (Eurimage, 2006).

### 3. L'indice di vegetazione NDVI

Dall'analisi dei comportamenti spettrali della vegetazione è possibile stabilire delle relazioni quantitative tra dati telerilevati e fenologia mediante algoritmi che si basano sul rapporto delle bande spettrali tipiche di assorbimento e di ri-

flessione. Tali algoritmi prendono il nome di indici di vegetazione e forniscono informazioni su una serie di variabili geo-bio-fisiche presenti nell'area sotto osservazione (quantità di biomassa, densità e copertura vegetale, indice di area fogliare, ecc.), consentendone il monitoraggio nel tempo.

L'indice di vegetazione NDVI (Normalized Difference Vegetation Index), espresso dalla formula 1, in cui NIR e RED indicano per il generico sensore rispettivamente la banda dell'infrarosso vicino e la banda del rosso,

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED} \quad (1)$$

assume valori numerici adimensionali teoricamente compresi tra -1 e +1, anche se nella realtà i valori di NDVI variano prevalentemente in un intervallo compreso tra -0.2 e +0.6 sulle terre emerse, con i corpi d'acqua, la neve e le nubi che mostrano valori vicini allo zero o leggermente negativi.

Il valore dell'indice è stato dimostrato essere in stretta relazione con lo stato di salute della vegetazione, intesa come biomassa e area fogliare, ed ai processi biochimici ad essa correlati (attività fotosintetica). Nelle mappe di NDVI valori bassi dell'indice si hanno in corrispondenza di aree a bassa o assente copertura vegetale, o dove la vegetazione presente è senescente o sofferente, mentre gli alti valori dell'indice rispecchiano una situazione di forte attività fotosintetica e quindi elevata presenza di biomassa.

Sebbene esistano in letteratura decine di indici di vegetazione, l'indice NDVI è di gran lunga quello più utilizzato, grazie ad una serie di vantaggi, tra cui il fatto che minimizzi gli effetti topografici e atmosferici (Thiam e Eastman, 1999) ed abbia una formulazione utilizzabile per più tipi di sensori.

#### 4. Estrazione del NDVI multitemporale

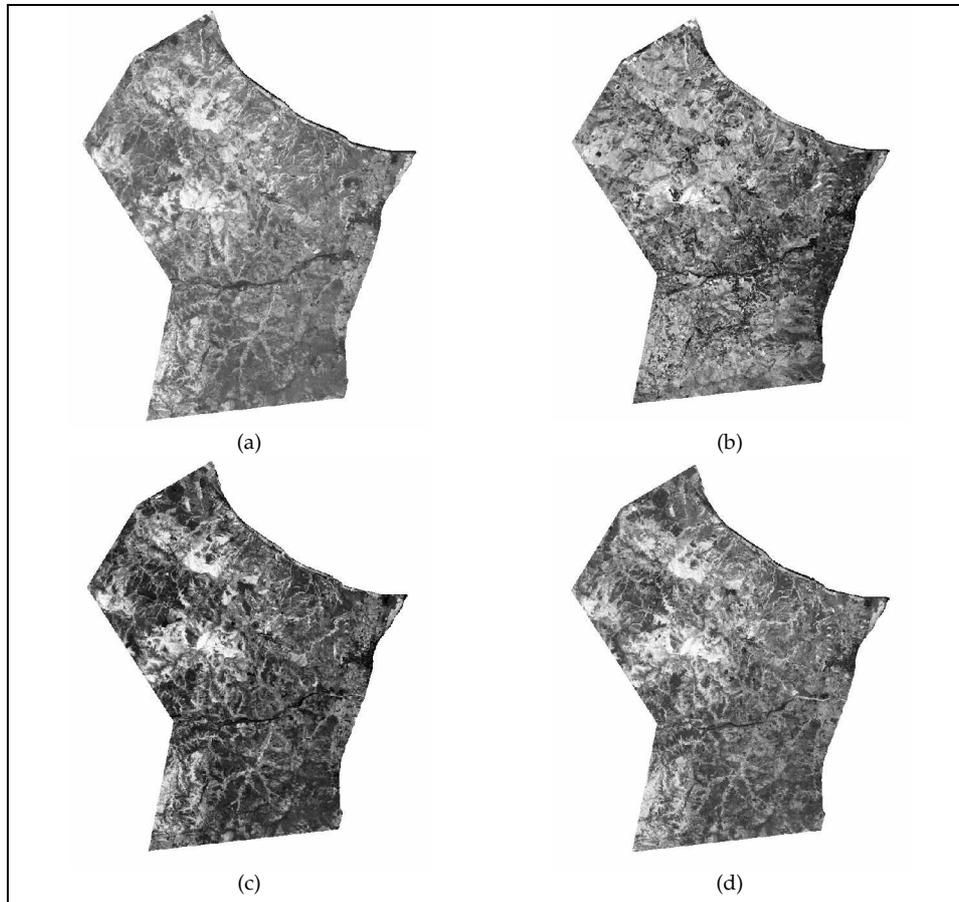
Le scene Landsat TM sono state dapprima rettificate, utilizzando un numero opportuno di GCP (*Ground Control Points*) presi da cartografia IGMI a scala 1:50.000 inquadrata nel sistema UTM - ED50 Fuso 33, ottenendo un errore RMS (*Root Mean Square*) residuo inferiore ad 1 pixel, e successivamente co-registrate al fine di garantirne la sovrapponibilità.

Da ciascuna scena è stato poi estratto l'indice di vegetazione NDVI, espresso per Landsat dalla formula 2, in cui b3 è la banda del rosso e b4 quella del vicino infrarosso, e successivamente è stato creato un dataset multibanda contenente gli NDVI multitemporali.

$$NDVI = \frac{b4 - b3}{b4 + b3} \quad (2)$$

Tutte le elaborazioni sui dataset satellitari sono state effettuate utilizzando il sw di *image processing* ERMapper 7.01 (ERMapper 2005).

Nella figura 2 sono mostrate le mappe di NDVI ottenute per le 4 date di interesse, rappresentate utilizzando una LUT (*Look-up Table*) in toni di grigio, con zone chiare caratterizzate da valori alti di NDVI e zone scure da valori bassi dell'indice.



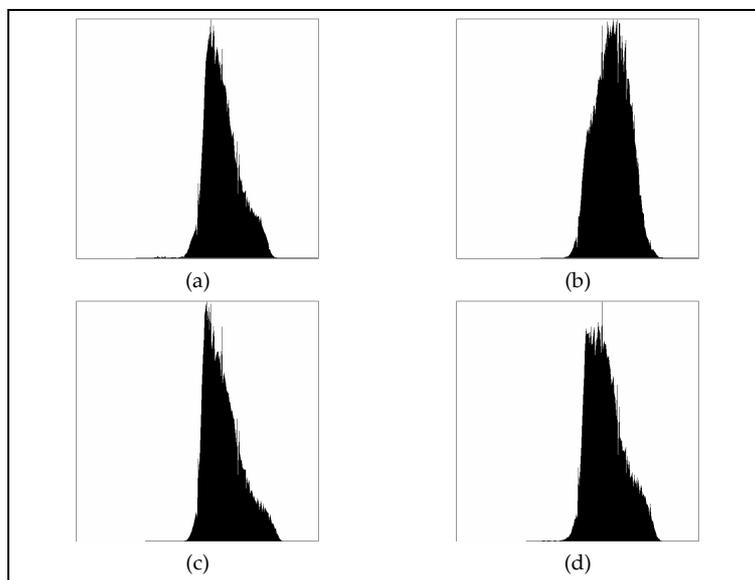
**Fig. 2** – NDVI multitemporale: 1984 (a), 1990 (b), 1998 (c), 2004(d)

Nella figura 3 sono invece mostrati gli istogrammi del NDVI per le 4 date di interesse, che in questa rappresentazione sono tutti e quattro normalizzati nell'intervallo  $-1 \div 1$  al fine di facilitarne il confronto, mentre nelle mappe mostrate nella figura 2 i limiti del NDVI sono rimasti quelli originari, diversi per ciascun dataset.

### 5. Stima della copertura vegetale

Una tecnica efficace per la stima dell'estensione delle aree caratterizzate da un diverso grado di copertura vegetale è quella basata sull'applicazione di algoritmi di *level thresholding* all'indice di vegetazione NDVI.

La tecnica in questione si basa sul concetto che la vegetazione rigogliosa presenta una elevata riflettività nel vicino infrarosso ed un forte assorbimento, e quindi bassa riflettività, nella banda del rosso. Pertanto, a valori elevati di NDVI corrispondono aree caratterizzate da vegetazione rigogliosa ed il *level thresholding*



**Fig. 3** – Istogrammi del NDVI multitemporale: 1984 (a), 1990 (b), 1998 (c), 2004(d)

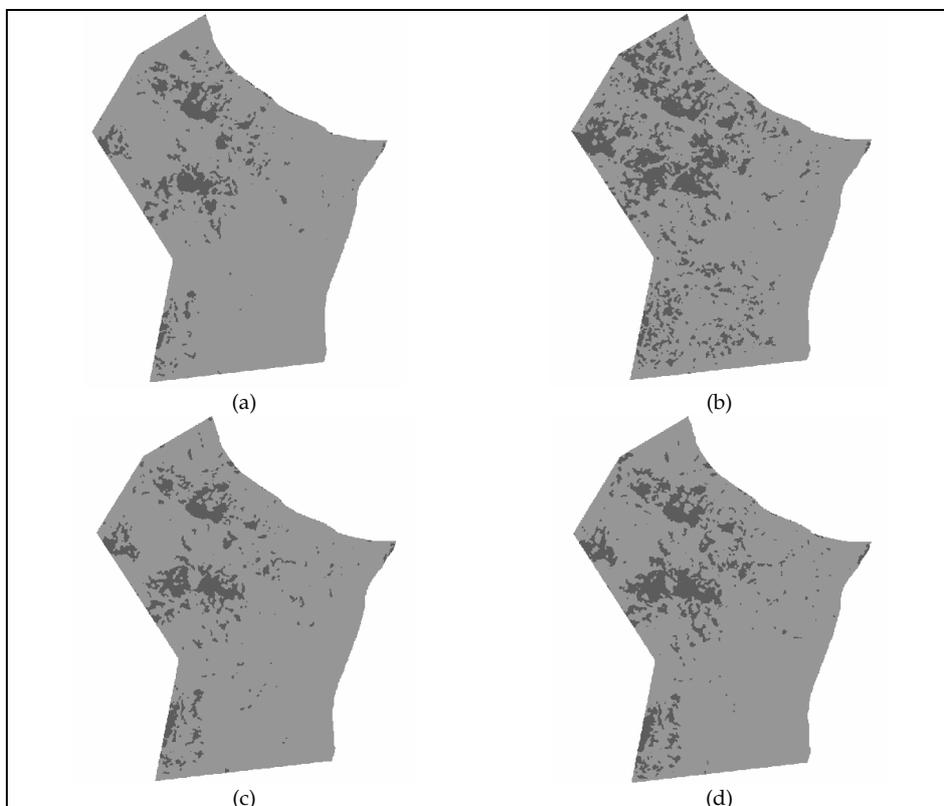
consiste nell'individuazione di tutti i pixel aventi un valore di NDVI inferiore ad una soglia predefinita dall'utente. Per contro i pixel rimanenti, e cioè sopra la soglia, possono essere identificati con le aree caratterizzate da un alto grado di copertura vegetale.

Utilizzando la tecnica dianzi descritta, per ciascuna delle 4 scene disponibili sono state individuate zone caratterizzate da un alto grado di copertura vegetale, in corrispondenza delle quali il valore di NDVI è risultato superiore alla soglia di 0,4, e zone caratterizzate da un basso grado di copertura vegetale in corrispondenza delle quali il valore di NDVI è risultato uguale o inferiore alla soglia di 0,4, effettuando, di fatto, una classificazione a due classi. Il valore della soglia è stato selezionato pari a 0,4, in quanto è stato ritenuto quello più idoneo ad individuare le zone caratterizzate da un alto grado di copertura vegetale, a seguito di confronti effettuati tra le classificazioni a due classi con le immagini *true color* alle diverse date.

Così come accade per le mappe di classificazione ottenute mediante algoritmi statistici, anche in questo caso si è in presenza di numerose singolarità rappresentate da singoli pixel, appartenenti ad una classe, circondati da pixel appartenenti all'altra classe. Per ovviare a questo fenomeno, al dataset classificato è stato applicato per 4 volte consecutive un filtro *majority* con *kernel* 3x3 (Lillesand e Kiefer, 1994).

I 4 dataset classificati e successivamente filtrati sono illustrati nella figura 4, mentre nella tabella 1 sono riassunte alcune informazioni sull'estensione – assoluta e relativa – delle zone caratterizzate da gradi diversi di copertura vegetale.

Per una migliore leggibilità delle variazioni spaziali riportate sulle mappe, le figure contenute nel presente lavoro dalla 4 alla 9 comprese sono riportate a colori nei file presenti sul CD allegato al presente volume.



**Fig. 4** – Zone caratterizzate da un alto grado di copertura vegetale ( $NDVI > 0,4$ ) in grigio scuro e basso grado di copertura vegetale ( $NDVI \leq 0,4$ ) in grigio chiaro: 1984 (a), 1990 (b), 1998 (c), 2004(d)

Grado di copertura vegetale	1984		1990		1998		2004	
	Estensione		Estensione		Estensione		Estensione	
	(ha)	(%)	(ha)	(%)	(ha)	(%)	(ha)	(%)
Alto	1.897,47	8,7	3.929,13	18,0	2.232,54	10,2	2.820,60	12,9
Basso	19.914,39	91,3	17.887,50	82,0	19.582,83	89,8	18.994,50	87,1
	21.811,86	100,0	21.816,63	100,0	21.815,37	100,0	21.815,10	100,0

**Tab. 1** – Estensione delle zone caratterizzate da gradi diversi di copertura vegetale.

Le leggere discrepanze tra l'estensione totale dell'area classificata nelle 4 scene (comunque inferiore allo 0,02 % nel caso peggiore) è imputabile agli effetti dell'applicazione del filtro *majority* ai pixel prossimi ai bordi delle scene. Infatti, il filtro, a causa del possibile diverso valore di tali pixel nelle singole scene, può includere/escludere nella/dalla classificazione un numero diverso di pixel da scena a scena.

## 6. Primo metodo per la valutazione degli impatti, basato sul *level thresholding* del NDVI

Il primo metodo proposto per stimare gli impatti sulla sensibilità alla desertificazione causati dalle dinamiche della copertura vegetale consiste nell'assegnare un diverso impatto a ciascun pixel dell'area di studio, in funzione della persistenza di copertura vegetale o delle sue transizioni da un grado ad un altro.

Nella tabella 2 è illustrata la codifica degli impatti nei singoli step temporali. Nei tre step temporali analizzati (1984 → 1990, 1990 → 1998, 1998 → 2004) l'impatto è stato classificato Negativo nel caso di persistenza di basso grado di copertura vegetale e nel caso di transizione da alto a basso grado di copertura vegetale e Positivo nel caso di persistenza di alto grado di copertura vegetale e nel caso di transizione da basso a alto grado di copertura vegetale.

Nella tabella 3 è invece illustrata la codifica dei 4 diversi impatti nel periodo complessivo di osservazione in funzione degli impatti nei singoli step temporali.

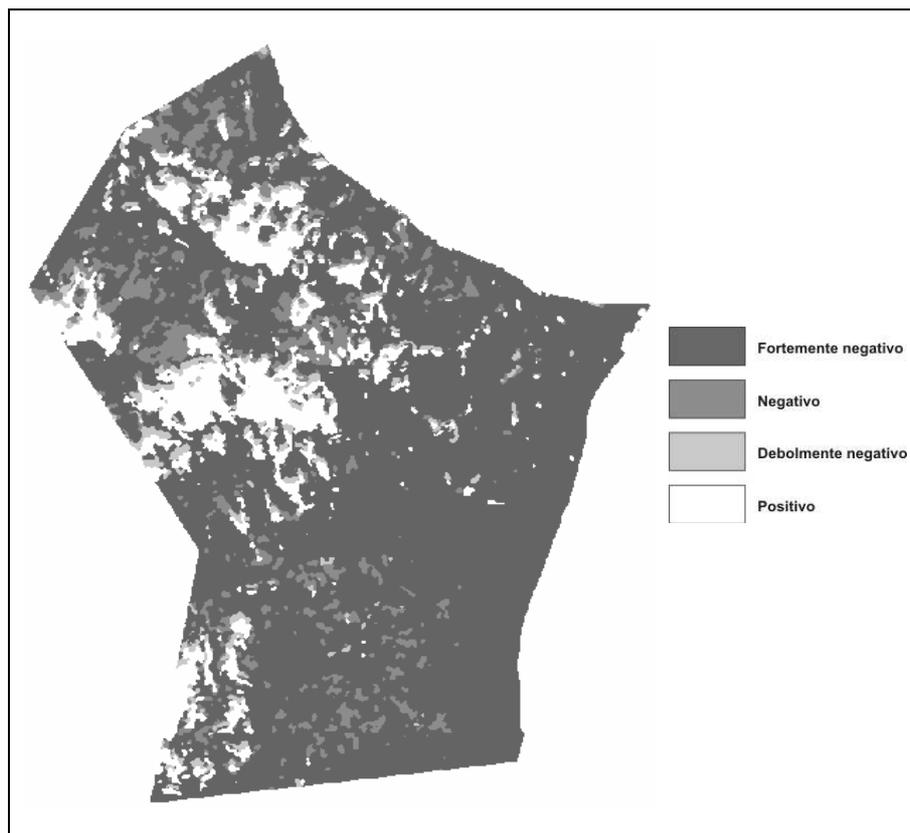
Grado di copertura vegetale al tempo iniziale dello step temporale	Grado di copertura vegetale al tempo finale dello step temporale	Dinamica della copertura vegetale nello step temporale	Codice dinamica	Impatto sulla sensibilità alla desertificazione nello step temporale
Alto	Alto	Persistenza di alto grado di copertura vegetale	PA	Positivo
Basso	Basso	Persistenza di basso grado di copertura vegetale	PB	Negativo
Alto	Basso	Transizione da alto a basso grado di copertura vegetale	TAB	Negativo
Basso	Alto	Transizione da basso a alto grado di copertura vegetale	TBA	Positivo

**Tab. 2** – Codifica degli impatti nel singolo step temporale

Impatto 1984 → 1990	Impatto 1990 → 1998	Impatto 1998 → 2004	Impatto 1984 → 2004
Negativo	Negativo	Negativo	Fortemente negativo
Positivo	Negativo	Negativo	Negativo
Positivo Negativo	Positivo	Negativo	Debolmente negativo
Positivo Negativo	Positivo Negativo	Positivo	Positivo

**Tab. 3** – Codifica degli impatti nel periodo complessivo di osservazione

La mappa ottenuta applicando all'area di studio la codifica illustrata in precedenza è illustrata nella figura 5, mentre nella tabella 4 sono mostrate alcune informazioni sull'estensione – assoluta e relativa – delle zone caratterizzate dai diversi impatti.



**Fig. 5** – *Mappa degli impatti nel periodo complessivo di osservazione 1984 → 2004*

Impatto 1984 → 2004	Estensione (ha)	Estensione (%)
Fortemente negativo	16.132,70	74,0
Negativo	1.965,96	9,0
Debolmente negativo	872,28	4,0
Positivo	2.815,38	13,0
	21.786,32	100,0

**Tab. 4** – *Estensione delle zone caratterizzate da impatti diversi nel periodo complessivo di osservazione 1984 → 2004*

### 6.1 Valutazione dell'accuratezza della stima della copertura vegetale

Una prima valutazione dell'accuratezza dei risultati ottenuti è data dall'accuratezza della classificazione dell'area di studio in zone caratterizzate da un diverso grado di copertura vegetale. A tal fine è stata calcolata una prima matrice di confusione considerando i seguenti dataset:

- *dataset classificato*: la classificazione per il 1990 dell'area di studio in zone caratterizzate da un alto grado di copertura vegetale ( $NDVI > 0,4$ ) e zone caratterizzate da un basso grado di copertura vegetale ( $NDVI \leq 0,4$ ) (Fig. 4.b);
- *dataset di riferimento*: una classificazione di copertura/uso del suolo a 2 classi ottenuta per l'area di studio a partire dalla classificazione al terzo livello del progetto Corine Land Cover CLC 1990, accorpando nella prima classe (zone con alto grado di copertura vegetale) le classi 3.1 (zone boscate), 3.2.3 (aree a vegetazione sclerofilla) e 3.2.4 (aree a vegetazione boschiva ed arbustiva in evoluzione) e nella seconda classe (zone con basso grado di copertura vegetale) tutte le altre classi di CLC 1990.

L'accuratezza totale risultante ha raggiunto il valore molto soddisfacente dell'82% (valori già prossimi al 75% sono ritenuti testimoni di classificazioni accurate).

Dal momento che per l'area di studio era disponibile, sempre per il 1990, una classificazione di copertura/uso del suolo generata dal CNR-IRPI di Cosenza mediante fotointerpretazione di foto aeree (Antronico e Scarpelli, 2007), è stata calcolata una seconda matrice di confusione, in cui, a differenza della prima, a parità di dataset classificato, per generare il dataset di riferimento è stata utilizzata la classificazione CNR al posto di quella CLC, seguendo sempre lo stesso criterio di accorpamento utilizzato nel caso della prima matrice.

In questo secondo caso l'accuratezza totale è risultata leggermente inferiore (78%), anche se ha comunque raggiunto un livello molto elevato.

Infine, per completezza, è stata generata una terza matrice di confusione, avente come dataset classificato la classificazione accorpata a due classi derivata dal CNR-IRPI per il 1990 appena descritta e come dataset di riferimento lo stesso dataset di riferimento utilizzato nella prima matrice di confusione (classificazione accorpata a due classi derivata da CLC per il 1990).

In questo terzo caso l'accuratezza totale è risultata pari all'84%.

I livelli di accuratezza molto elevati ottenuti nei tre casi appena illustrati testimoniano la bontà del metodo utilizzato, basato sul *level thresholding* del NDVI, per discriminare le zone caratterizzate da un alto grado di copertura vegetale dalle altre. Gli esigui errori residui e le leggerissime discrepanze sono in gran parte imputabili alle diverse metodologie utilizzate per generare i diversi dataset analizzati.

### 6.2 Valutazione dell'accuratezza della stima delle dinamiche della copertura vegetale e degli impatti sulla sensibilità alla desertificazione valutati in uno step temporale

Poiché la stima delle dinamiche della copertura vegetale implica l'analisi combinata di dataset multitemporali, per valutare l'accuratezza dei risultati ot-

tenuti con il primo metodo proposto, in base alla disponibilità di dati di riferimento, sono state messe a confronto tre stime della dinamica della copertura vegetale generate nel periodo 1990 → 2000 per l'area di studio.

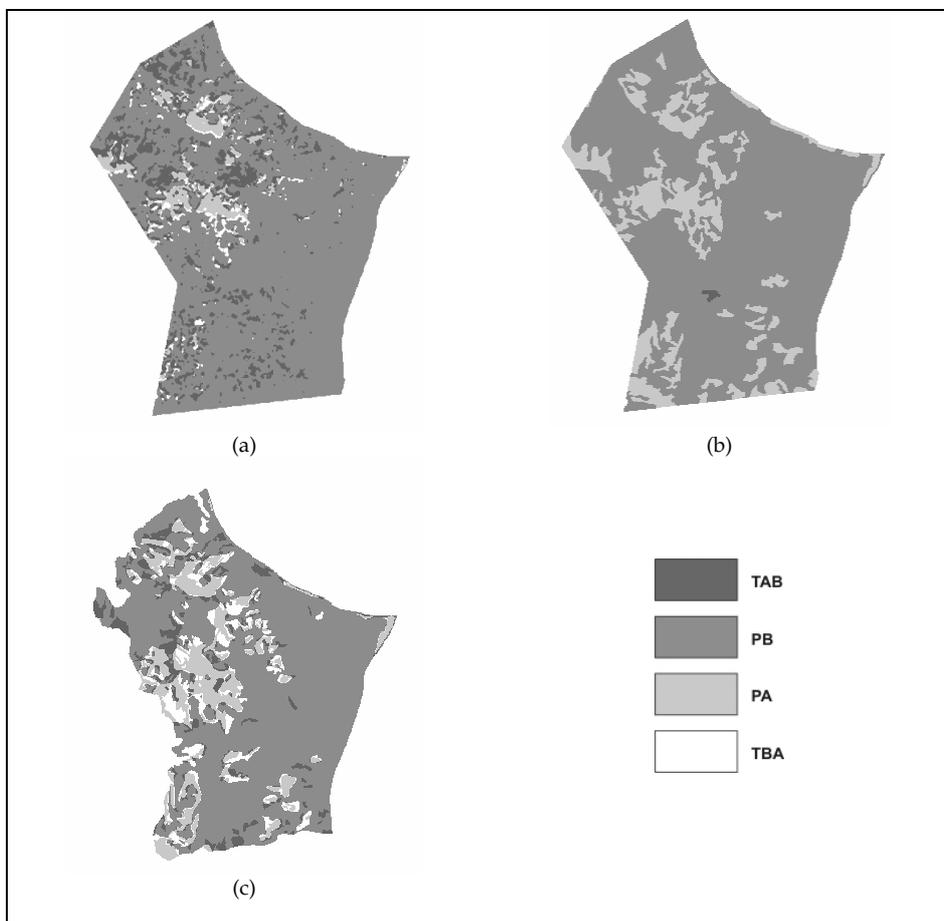
Una prima stima è stata ottenuta effettuando una differenza pixel-to-pixel tra le classificazioni a due classi in zone ad alto/basso grado di copertura vegetale ottenute con il metodo del *level thresholding* del NDVI, relative agli anni 1990 e 2000. Quella relativa all'anno 1990 è quella illustrata in figura 4b, mentre per quella dell'anno 2000 è stato necessario processare una quinta scena relativa al periodo di luglio 2000. Dalla differenza pixel-to-pixel tra i due dataset è stata generata una classificazione di dinamica della copertura vegetale a 4 classi, la cui codifica è descritta nella tabella 5 e la cui mappa è illustrata nella figura 6a.

Una seconda stima è stata ottenuta effettuando una differenza pixel-to-pixel tra le classificazioni di copertura/uso del suolo Corine Land Cover al 3° livello relative agli anni 1990 e 2000, previo accorpamento in due classi seguendo il criterio precedentemente descritto: la prima classe (zone con elevato grado di copertura vegetale) ha compreso le classi 3.1 (zone boscate), 3.2.3 (aree a vegetazione sclerofilla) e 3.2.4 (aree a vegetazione boschiva ed arbustiva in evoluzione) e la seconda classe (zone con basso grado di copertura vegetale) tutte le altre classi di CLC. La mappa risultante è illustrata nella figura 6b, da cui si può vedere come in questo caso una delle 4 classi sia totalmente assente (TBA), mentre per la classe TAB sia presente solo una piccolissima zona in posizione centrale nella parte inferiore dell'area di studio. Il minore dettaglio spaziale che caratterizza questa elaborazione è in primo luogo imputabile alla diversa scala spaziale del progetto CLC, che ha fissato in 25 ha l'estensione della minima unità mappata.

Una terza stima è stata ottenuta effettuando una differenza pixel-to-pixel tra le classificazioni di copertura/uso del suolo CNR-IRPI 1990 e CNR-IRPI/ARSSA 2000, previa riclassificazione di entrambe secondo la legenda CLC e successivo accorpamento in due classi seguendo il criterio utilizzato per la seconda stima. La mappa risultante è illustrata nella figura 6c.

Classe 1990	Classe 2000	Classe 1990 → 2000	Codice
Alto grado di copertura vegetale	Alto grado di copertura vegetale	Persistenza di alto grado di copertura vegetale	PA
Basso grado di copertura vegetale	Basso grado di copertura vegetale	Persistenza di basso grado di copertura vegetale	PB
Alto grado di copertura vegetale	Basso grado di copertura vegetale	Transizione da alto a basso grado di copertura vegetale	TAB
Basso grado di copertura vegetale	Alto grado di copertura vegetale	Transizione da basso a alto grado di copertura vegetale	TBA

**Tab. 5** – Codifica delle classi di dinamica della copertura vegetale



**Fig. 6** – Confronto tra le dinamiche della copertura vegetale: metodo proposto (a), CLC (b), CNR (c)

Nella tabella 6 è sintetizzata l'estensione – assoluta e relativa – delle zone caratterizzate da gradi diversi di copertura vegetale nei tre casi messi a confronto.

La leggera discrepanza tra l'estensione totale dell'area classificata con il metodo proposto e quella dell'area classificata a partire dai dati CLC è anche in questo caso imputabile agli effetti dell'applicazione del filtro *majority* ai dataset Landsat TM, mentre la differenza più sostanziale tra queste due estensioni totali e quella dell'area classificata a partire dai dati CNR è dovuta alla forma leggermente diversa utilizzata dal CNR per delimitare l'area di studio, come si evince confrontando la figura 6c con le figure 6a e 6b.

Nella tabella 7 sono invece mostrate le estensioni – assolute e relative – delle zone caratterizzate da impatti diversi sulla sensibilità alla desertificazione nello step temporale 1990 → 2000, ottenute codificando gli impatti seguendo il criterio illustrato nella tabella 2 (impatto negativo in caso di PB e TAB e impatto positivo in caso di PA e TBA).

Codice della classe di dinamica della copertura vegetale nello step temporale 1990 → 2000	Metodo proposto		CLC		CNR	
	Estensione		Estensione		Estensione	
	(ha)	(%)	(ha)	(%)	(ha)	(%)
PB	17.303,22	79,4	18.612,36	81,6	14.161,67	70,8
TAB	2.836,34	13,1	40,14	0,2	1.567,98	7,8
PA	1.078,11	4,9	4.157,37	18,2	2.771,19	13,9
TBA	569,16	2,6	0,00	0,0	1.498,50	7,5
	21.796,83	100,0	22.809,87	100,0	20.009,34	100,0

**Tab. 6** – Confronto tra le estensioni delle zone caratterizzate da gradi diversi di dinamica della copertura vegetale nello step temporale 1990 → 2000

Impatto sulla sensibilità alla desertificazione nello step temporale 1990 → 2000	Metodo proposto		CLC		CNR	
	Estensione		Estensione		Estensione	
	(ha)	(%)	(ha)	(%)	(ha)	(%)
Negativo	20.149,56	92,4	18.652,50	81,8	15.739,65	78,7
Positivo	1.647,27	7,6	4.157,37	18,2	4.269,69	21,3
	21.796,83	100,0	22.809,87	100,0	20.009,34	100,0

**Tab. 7** – Confronto tra le estensioni delle zone caratterizzate da impatti diversi sulla sensibilità alla desertificazione nello step temporale 1990 → 2000.

Dai confronti finora effettuati è possibile avanzare le seguenti considerazioni:

- l'estensione delle zone caratterizzate da persistenza di bassa copertura vegetale classificate con il metodo proposto e utilizzando i dati CLC sono molto simili, pari rispettivamente al 79,4% e al 81,6% del totale, mentre l'elaborazione con dati CNR fa registrare un'estensione sensibilmente inferiore, pari al 70,8% del totale;
- per quanto riguarda invece l'estensione delle zone caratterizzate da persistenza di alta copertura vegetale, le tre elaborazioni conducono a tre risultati sensibilmente diversi tra loro (4,9% metodo proposto, 18,2% CLC e 13,9% CNR);
- come già accennato in precedenza, i dati CLC, a causa della loro scala spaziale, non sono in grado di rilevare ad una scala locale così dettagliata le transizioni tra gradi diversi di copertura vegetale (estensione delle zone TAB pari a 0,2% e assenza di zone TBA);
- l'estensione delle aree TAB stimata con il metodo proposto è pari al

13,1% contro il 7,8% stimato con i dati CNR, mentre, al contrario, è maggiore l'estensione delle aree TBA stimata con i dati CNR (7,5%) rispetto al 2,6% stimato con il metodo proposto; tale differenza è per lo più imputabile all'individuazione da parte del CNR di estese zone caratterizzate da rimboschimenti, che la tecnica del *level thresholding* non è stata in grado di rilevare, classificandole come zone caratterizzate da persistenza di bassa copertura vegetale; ciò giustificherebbe inoltre la differenza tra l'estensione delle zone PB stimata con il metodo proposto e quella stimata con i dati CNR;

- le differenze registrate a livello di estensione delle zone caratterizzate da persistenza di grado di copertura vegetale o transizione tra gradi diversi dianzi illustrate si riflette sulle differenze registrate a livello di estensione delle zone caratterizzate da impatti diversi, sintetizzate nella tabella 7; a seguito delle opportune aggregazioni, risultano molto simili le estensioni stimate con i dati CLC e con i dati CNR, mentre il metodo proposto stima complessivamente estensioni maggiori per le zone caratterizzate da impatto negativo ed estensioni inferiori per le zone caratterizzate da impatto positivo.

## **7. Secondo metodo per la valutazione degli impatti, basato sulle variazioni relative di NDVI**

Il primo metodo proposto per la stima degli impatti sulla sensibilità alla desertificazione causati dalle dinamiche della copertura vegetale è basato sulla discriminazione del grado di copertura vegetale ottenuta applicando una soglia discreta al NDVI e successivamente codificando gli impatti in funzione delle persistenze e/o delle transizioni del grado di copertura vegetale durante un certo numero di step temporali in cui è suddiviso un periodo complessivo di osservazione.

I risultati ottenuti con l'applicazione di questo metodo illustrati in precedenza, per quanto mostrino un discreto riscontro con altri dati disponibili ottenuti con tecniche diverse, soffrono della limitazione di discriminare il grado di copertura vegetale in due soli livelli, alto e basso, in corrispondenza del superamento o meno di un'unica soglia, pari a 0,4, applicata all'indice di vegetazione NDVI.

Un primo rimedio per superare tale limitazione è sicuramente fornito dall'utilizzo di più soglie per delimitare più intervalli di valori NDVI, in grado a loro volta di identificare più gradi di copertura vegetale.

Questo accorgimento, però, non consentirebbe di superare l'altra limitazione derivante dal codificare i diversi impatti in funzione di sole variazioni assolute di NDVI nel tempo, con conseguente limitata capacità di discriminare alcune tipologie di variazioni di copertura vegetale.

Per ovviare a ciò, il secondo metodo proposto si basa sulla codifica dei diversi impatti in funzione delle variazioni relative che l'indice NDVI assume negli step temporali in cui è suddiviso il periodo di osservazione complessivo.

Affinché tali variazioni siano ritenute significative ai fini degli impatti generati, è stata fissata una soglia pari al 20%, assumendo che variazioni inferiori in valore assoluto al valore di soglia non generino impatti significativi.

Seguendo tale criterio, è stato possibile definire 7 diversi impatti, la cui codifica è illustrata nella tabella 8 ed il cui significato è descritto nel seguito:

- *impatto fortemente negativo* in corrispondenza di quelle aree caratterizzate dal ripetersi in tutti e tre gli step temporali di condizioni di decremento di NDVI in valore assoluto maggiore del valore di soglia;
- *impatto negativo* in corrispondenza di quelle aree caratterizzate dal ripetersi negli ultimi due step temporali (più recenti) di condizioni di decremento di NDVI in valore assoluto maggiore del valore di soglia, mentre nel primo step temporale si è verificato o un incremento di NDVI o un decremento in valore assoluto inferiore al valore di soglia;
- *impatto debolmente negativo* in corrispondenza di quelle aree caratterizzate solo nell'ultimo step temporale dalla condizione di decremento di NDVI in valore assoluto maggiore del valore di soglia, mentre nel secondo step temporale si è verificato o un incremento di NDVI o un decremento in valore assoluto inferiore al valore di soglia e nel primo step temporale una variazione qualsiasi di NDVI;
- *impatto debolmente positivo* in corrispondenza di quelle aree caratterizzate solo nell'ultimo step temporale dalla condizione di incremento di NDVI maggiore del valore di soglia, mentre nel secondo step temporale si è verificato o un decremento di NDVI o un incremento inferiore al valore di soglia e nel primo step temporale una variazione qualsiasi di NDVI;
- *impatto positivo* in corrispondenza di quelle aree caratterizzate dal ripetersi negli ultimi due step temporali di condizioni di incremento di NDVI maggiore del valore di soglia, mentre nel primo step temporale si è verificato o un decremento di NDVI o un incremento inferiore al valore di soglia;
- *impatto fortemente positivo* in corrispondenza di quelle aree caratterizzate dal ripetersi in tutti e tre gli step temporali di condizioni di incremento di NDVI maggiore del valore di soglia;
- *impatto nullo* in corrispondenza di quelle aree caratterizzate solo nell'ultimo step temporale da una variazione, in aumento o in diminuzione, di NDVI in valore assoluto inferiore al valore di soglia, mentre nei primi due step temporali si è verificata una variazione qualsiasi di NDVI.

Rispetto alla codifica degli impatti proposta con il primo metodo ed illustrata nella tabella 3, in questo caso è stata introdotta una gradazione anche per gli impatti positivi, al fine di mettere a punto degli strumenti in grado di valutare l'efficacia di politiche eventualmente messe in atto per ridurre la sensibilità alla desertificazione.

Per quanto riguarda l'estensione minima delle aree per le quali è stato definito un impatto, nel caso in esame le analisi sono state effettuate a livello di sin-

Variazione di NDVI nello step temporale 1984 → 1990	Variazione di NDVI nello step temporale 1990 → 1998	Variazione di NDVI nello step temporale 1998 → 2004	Impatto nel periodo 1984 → 2004
Decrem. NDVI  > 20%	Decrem. NDVI  > 20%	Decrem. NDVI  > 20%	Fortemente negativo
Increment. NDVI o  Decrem. NDVI  ≤ 20%	Decrem. NDVI  > 20%	Decrem. NDVI  > 20%	Negativo
Qualsiasi variazione di NDVI	Increment. NDVI o  Decrem. NDVI  ≤ 20%	Decrem. NDVI  > 20%	Debolmente negativo
Qualsiasi variazione di NDVI	Decrem. NDVI o Increment. NDVI ≤ 20%	Increment. NDVI > 20%	Debolmente positivo
Decrem. NDVI o Increment. NDVI ≤ 20%	Increment. NDVI > 20%	Increment. NDVI > 20%	Positivo
Increment. NDVI > 20%	Increment. NDVI > 20%	Increment. NDVI > 20%	Fortemente positivo
Qualsiasi variazione di NDVI	Qualsiasi variazione di NDVI	Variazione di NDVI  < 20%	Nulla

**Tab. 8** – Codifica degli impatti nel periodo complessivo di osservazione 1984 → 2004

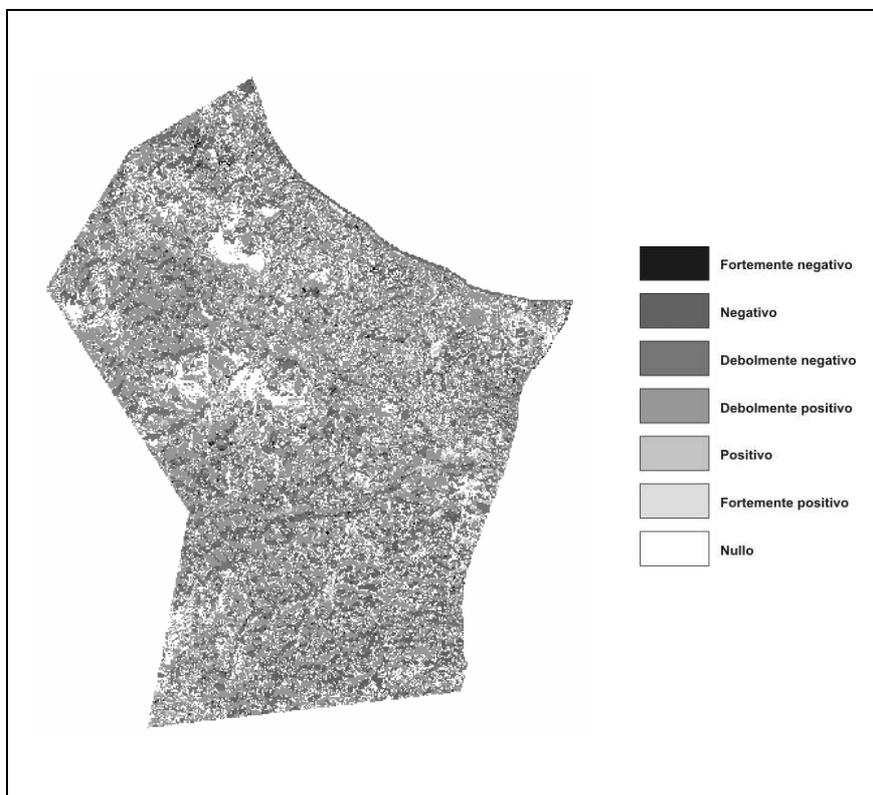
golo pixel, scegliendo di non ricorrere ad alcuna tecnica di filtraggio post-classificazione, a vantaggio dell'integrità fisica dei valori relativi al singolo pixel ottenuti a valle delle varie elaborazioni, anche se a discapito dell'omogeneità spaziale della classificazione, in alcune zone risultata molto frastagliata.

La mappa ottenuta applicando all'area di studio la codifica descritta in precedenza è illustrata nella figura 7, mentre nella tabella 9 sono mostrate alcune informazioni sull'estensione – assoluta e relativa – delle zone caratterizzate dai diversi impatti.

I risultati ottenuti con il secondo metodo, mostrati nella figura 7 e nella tabella 9, sono sensibilmente diversi da quelli ottenuti con il primo metodo, illustrati nella figura 5 e nella tabella 4. L'origine di tali differenze è da ricercarsi oltre che nella diversità dei metodi utilizzati (il primo basato su variazioni assolute di NDVI, il secondo su variazioni relative), sia nella gradazione anche degli impatti positivi, presente nel secondo metodo e assente nel primo, che nella presenza nel secondo metodo di una classe caratterizzata da impatto nullo, assente nel primo.

Ad ogni modo, la classificazione dell'area di studio in base agli impatti ottenuta con il secondo metodo offre sicuramente una lettura del territorio più dettagliata in termini di scala spaziale, che consente di rilevare fenomeni più circoscritti.

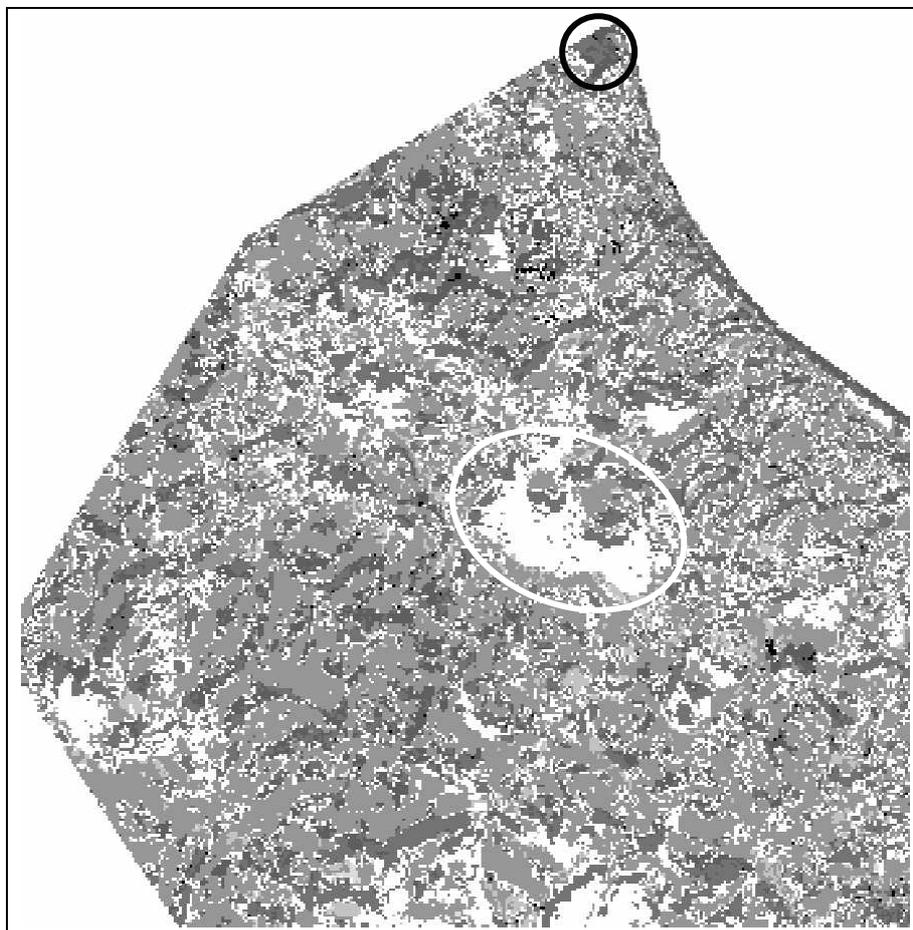
Si veda a tal proposito, a titolo esemplificativo, la zoomata relativa ad una zona dell'area di studio illustrata in figura 8, in cui sono evidenziate una zona caratterizzata da impatto nullo in posizione più o meno centrale (ovale bianco) e una zona caratterizzata da impatto debolmente negativo nella parte superiore della scena (ovale nero).



**Fig. 7** – Mappa degli impatti nel periodo complessivo di osservazione 1984 → 2004, ottenuta con il metodo basato sulle variazioni relative di NDVI.

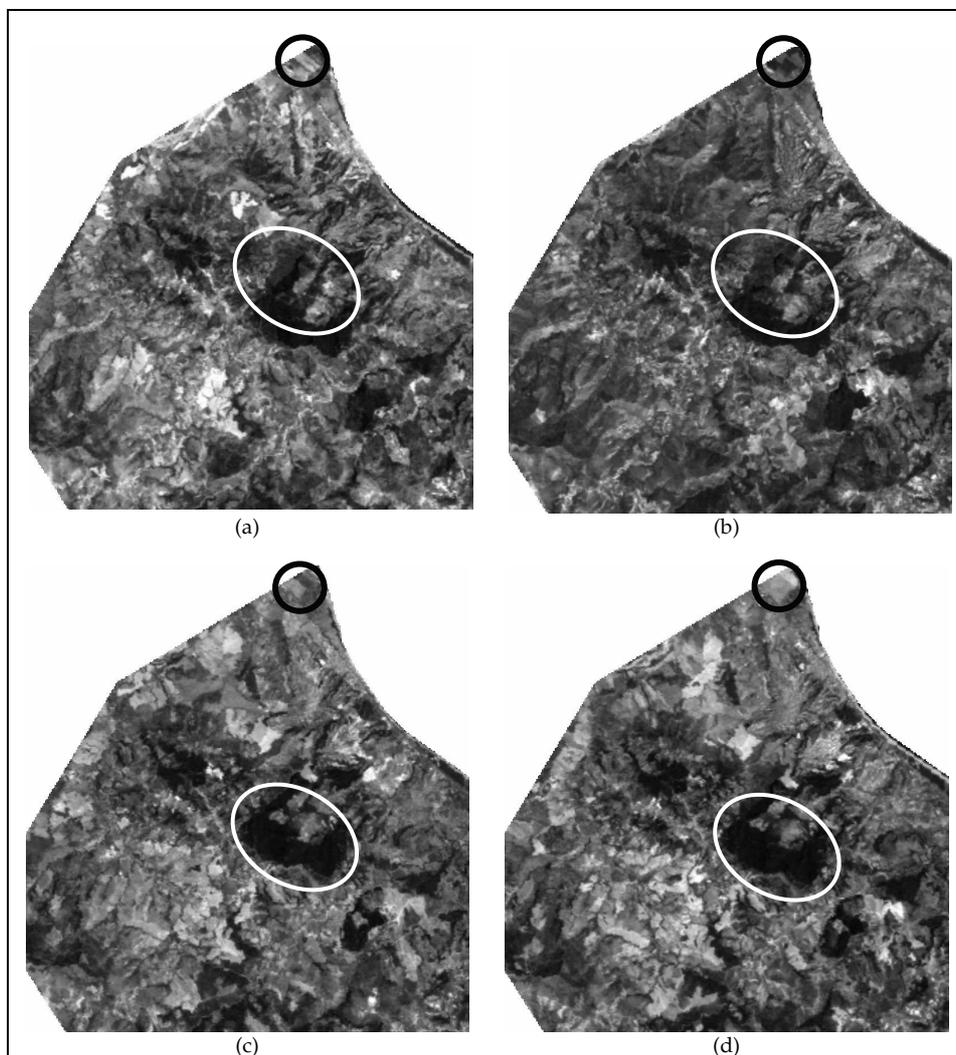
Impatto 1984 → 2004	Estensione (ha)	Estensione (%)
Fortemente negativo	78,48	0,3
Negativo	2.597,40	11,4
Debolmente negativo	4.493,34	19,7
Debolmente positivo	8.901,18	39,1
Positivo	1.093,50	4,8
Fortemente positivo	157,41	0,7
Nulla	5.468,31	24,0
	22.789,62	100,0

**Tab. 9** – Estensione delle zone caratterizzate da impatti diversi nel periodo complessivo di osservazione 1984 → 2004



**Fig. 8** – Zoomata della mappa degli impatti nel periodo complessivo di osservazione 1984 → 2004, ottenuta con il metodo basato sulle variazioni relative di NDVI.

Da un confronto con le immagini in toni di grigio ottenute dalla combinazione RGB:321 delle scene Landsat TM relative agli anni 1984, 1990, 1998 e 2004 illustrate rispettivamente nelle figure 9a, 9b, 9c e 9d, si evince come nel primo caso la persistenza in tutte e quattro le scene di zone caratterizzate da vegetazione intensa (zone molto scure nelle figure 9a, 9b, 9c e 9d) abbia determinato una sostanziale invarianza del NDVI nei tre step temporali, con conseguente classificazione di impatto nullo, mentre nel secondo caso è evidente un sensibile decremento di copertura vegetale nello step temporale più recente (zona più scura nella figura 9c che si schiarisce molto nella figura 9d), a fronte di un incremento di copertura vegetale nel primo step temporale (zona più chiara nella figura 9a che si scurisce nella figura 9b) ed una leggera diminuzione di copertura vegetale nel secondo step temporale (zona più scura nella figura 9b che si schiarisce leggermente nella figura 9c).



**Fig. 9** – Zoomata delle immagini Landsat TM RGB:321 in toni di grigio: 1984 (a), 1990 (b), 1998 (c), 2004 (d)

## 8. Conclusioni

Nel presente lavoro sono state illustrate alcune tecniche di telerilevamento da satellite utilizzate per la stima degli impatti sulla sensibilità alla desertificazione causati dalle dinamiche della copertura vegetale. Tali dinamiche sono state a loro volta ottenute mediante elaborazioni ed analisi effettuate sull'indice di vegetazione differenziale normalizzato NDVI estratto da dataset multispettrali multitemporali del sensore Landsat TM.

Sono stati descritti due distinti metodi proposti per la stima degli impatti a

partire dalle dinamiche della copertura vegetale: il primo basato su tecniche di *level thresholding* applicate agli NDVI multitemporali per discriminare zone caratterizzate da gradi diversi di copertura vegetale, mentre il secondo basato sulla codifica dei diversi impatti in funzione delle variazioni relative che l'indice NDVI assume negli step temporali in cui è suddiviso il periodo di osservazione complessivo.

Entrambi i metodi sono stati poi applicati ad un'area di studio di circa 250 Km<sup>2</sup> nel crotonese in Calabria ed i risultati sono stati ampiamente illustrati e descritti, mettendo in luce limiti e potenzialità delle tecniche utilizzate.

Lungi dall'essere la trattazione esaustiva, la classificazione dell'area di studio in base agli impatti ottenuta con il secondo metodo offre sicuramente una lettura del territorio più dettagliata in termini di scala spaziale, che consente di rilevare fenomeni più circoscritti. Inoltre, essendo basata su variazioni relative e non assolute di NDVI, presenta il vantaggio di avere la capacità teorica di discriminare tutte le tipologie di variazioni di copertura vegetale. Infine, la gradazione ottenuta anche per gli impatti positivi ben si presta per mettere a punto degli strumenti in grado di valutare l'efficacia di politiche eventualmente messe in atto per ridurre la sensibilità alla desertificazione.

I risultati presentati hanno comunque evidenziato le potenzialità offerte dal telerilevamento satellitare per la messa a punto di metodi e strumenti per la valutazione qualitativa e quantitativa dei fenomeni legati alla desertificazione.

Ulteriori affinamenti delle tecniche utilizzate sono comunque senz'altro possibili oltre che auspicabili, lavorando in molteplici direzioni, effettuando in primo luogo una serie di analisi della sensibilità dei risultati:

- alla lunghezza del periodo di osservazione e alla sua frequenza di campionamento temporale;
- ai valori di soglia utilizzati per discriminare le dinamiche di copertura vegetale;
- all'utilizzo di un numero maggiore di classi per discriminare zone caratterizzate da gradi diversi di copertura vegetale;
- all'utilizzo di più scene per ciascun anno di osservazione;
- all'impiego di diverse tecniche di post-classificazione per ridurre l'effetto dei pixel isolati;
- all'utilizzo di dataset satellitari caratterizzati da una diversa risoluzione spaziale.

## **Bibliografia**

- Antronico L., 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.
- Colombo V., Zucca C., Enne G. (2006). *Indicatori di desertificazione. Approccio integrato e supporto alle decisioni*. Progetto RIADE. ENEA, Roma e NRD, Sassari.
- Coscarelli R., Minervino I, Sorriso-Valvo M. (2005). *Methods for the characterisation of areas sensitive to desertification: a critical review and first results for the Calabria territori (Southern 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.

- Enne G., Zucca C., (2000). *Desertification indicators for the European Mediterranean Region: state of the art and possibile methodological approaches*. ANPA, Roma e NRD, Sassari.
- ERMapper (2005). *Using ERMapper 7*. [www.ermapper.com](http://www.ermapper.com)
- Eurimage (2006). *Eurimage Services and Products Guide*. [www.eurimage.com/products/docs/P\\_S.pdf](http://www.eurimage.com/products/docs/P_S.pdf)
- Ferrara A. et al., (2004). *Expert system for evaluating the Environmental Sensitive Index (ESI) for a local area: methodology, in DISforME - Desertification Indicators System for Mediterranean Europe*. Desertlinks Project. [www.kcl.ac.uk/projects/desertlinks/](http://www.kcl.ac.uk/projects/desertlinks/)
- Giannico C. (2002). *Evoluzione spazio temporale della copertura vegetale attraverso tecniche di telerilevamento satellitare*. Tesi di Laurea, Rell. prof. G. Mendicino, Ing. G. Martirano, Univ. degli Studi della Calabria.
- Kosmas C. et al., (1999). *Methodology for mapping ESAs to desertification*. MEDALUS project – Mediterranean Desertification and Land Use. <http://www.medalus.demon.co.uk/>
- Lillesand T., Kiefer R. (1994). *Remote sensing and Image Interpretation 3<sup>rd</sup> edition*. John Wiley & Sons, pp. 609-611.
- Minervino I., Coscarelli R. (2005). *Caratterizzazione di indicatori di desertificazione*. Rapporto interno CNR-IRPI n° 644, Cosenza.
- Sarmap, University of Valencia, EOS.D2C, Chinese Academy of Forestry. *TESEO - Treaty Enforcement Services using Earth Observation – Desertification*. Final Report. March 2003.
- Thiam A. K., Eastman J. R. (1999). *Vegetation Indices*. Guide to GIS and Image Processing, Worcester, MA: Clark Labs, Vol. 2, pp. 107-122.

## RIFERIMENTI AUTORI

### **Consiglio Nazionale delle Ricerche**

#### **Istituto di Ricerca per la Protezione Idrogeologica (CNR-IRPI)**

*Sede di Cosenza - Via Cavour, 4-6 - 87030 RENDE (CS)*

*www.irpi.cnr.it*

Roberto Coscarelli	coscarelli@irpi.cnr.it
Loredana Antronico	antronico@irpi.cnr.it
Marino Sorriso-Valvo	sorriso@irpi.cnr.it
Mario Cordasco	cordasco@irpi.cnr.it
Ivana Minervino	minervino@irpi.cnr.it
Manuela Scarpelli	scarpelli@irpi.cnr.it

### **Consiglio Nazionale delle Ricerche**

#### **Istituto per lo Studio degli Ecosistemi (CNR-ISE)**

*Sede di Pisa - Via Moruzzi, 1 - 56124 PISA*

*www.ise.cnr.it*

Brunello Ceccanti	brunello.ceccanti@ise.cnr.it
Grazia Masciandaro	grazia.masciandaro@ise.cnr.it
Serena Doni	serena.doni@ise.cnr.it
Cristina Macci	cristina.macci@ise.cnr.it

### **Politecnico di Milano**

#### **Dipartimento di Ingegneria Idraulica, Ambientale, Infrastrutture Viarie, Rilevamento (DIIAR)**

*Piazza Leonardo da Vinci, 32 - 20133 MILANO*

*www.polimi.it*

Tommaso Caloiero	tommaso.caloiero@polimi.it
------------------	----------------------------

### **EPSILON Italia s.r.l.**

*Via Pasquali, 79 - 87040 MENDICINO (CS)*

*www.epsilon-italia.it*

Giacomo Martirano	g.martirano@epsilon-italia.it
Vittorio Gagliardi	v.gagliardi@epsilon-italia.it