

**“CARTA DELLA SENSIBILITÀ ALLA  
DESERTIFICAZIONE IN SICILIA”  
SCALA 1:250000  
(ENVIRONMENTALLY SENSITIVE  
AREAS TO DESERTIFICATION, ESAs)**

**Autori:**

*F. Calvi<sup>1</sup>-P.Catena<sup>1</sup>-R. Cibella<sup>3</sup>-A. Cirasa<sup>2</sup>-F. Dolce<sup>1</sup>-A. Drago<sup>4</sup>-V. Ferraro<sup>5</sup>-D. Galvano<sup>6</sup>-A. Ganci<sup>3</sup>-F. Gendusa<sup>1</sup>-R. Giordano<sup>1</sup>-A. Granata<sup>6</sup>-F. Guaitoli<sup>5</sup>-A. Lo Bello<sup>4</sup>-M. G. Matranga<sup>5</sup>-M.T. Noto<sup>4</sup>-M. Perricone<sup>1</sup>*

- 1) Dipartimento Regionale Ambiente
- 2) SITR
- 3) Comando Corpo Forestale
- 4) Dipartimento Regionale Acqua e Rifiuti
- 5) Dipartimento Interventi Infrastrutturali per l'Agricoltura
- 6) ARPA

# INDICE

Premessa .....	4
Metodologia.....	6
1 Carta dell'Indice di Qualità del Suolo (SQI) .....	12
1.1 Roccia madre.....	15
1.2 Pietrosità.....	18
1.3 Profondità.....	18
1.4 Pendenza.....	19
1.5 Drenaggio .....	20
1.6 Tessitura .....	20
1.7 Calcolo dell'Indice di Qualità del Suolo (SQI) .....	21
2 Carta dell'Indice di Qualità del Clima (CQI).....	22
2.1 Esposizione dei versanti .....	22
2.2 Erosività delle precipitazioni.....	23
2.3 Indice di aridità.....	25
2.4 Stagionalità delle precipitazioni .....	28
2.5 Calcolo dell'Indice di Qualità del Clima (CQI) .....	28
3 Carta dell'Indice di Qualità della Vegetazione (VQI) .....	29
3.1 Rischio d'incendio.....	30
3.2 Protezione dall'erosione .....	34
3.3 Resistenza alla siccità.....	35
3.4 Grado di copertura vegetale .....	36
3.5 Calcolo dell'Indice di Qualità della Vegetazione (VQI) .....	37
4 Carta dell'Indice di Qualità della Gestione del Territorio (MQI).....	38
4.1 Intensità d'uso del suolo.....	39
4.2 Politiche di protezione.....	39

4.3 Indice di pressione Antropica (HPI).....	40
4.4 Calcolo dell'Indice di Qualità della Gestione (MQI) .....	42
5 Calcolo dell'Indice delle Aree Sensibili alla desertificazione (Esai).....	44
6 Risultati e conclusioni .....	46
Bibliografia.....	48

## Premessa

La desertificazione può essere definita come “il degrado del territorio nelle zone aride, semi-aride e sub-umide secche attribuite a varie cause, fra le quali variazioni climatiche ed attività umane”.(UNCCD)

Il degrado è il risultato di condizioni climatiche (siccità, aridità, regimi di precipitazioni irregolari e intense) e di attività umane (deforestazione, pascolamento eccessivo, deterioramento della struttura suolo) che determinano l’incapacità del territorio ad assicurare le proprie funzioni.

La desertificazione è la conseguenza di una serie d’importanti processi che sono attivi in ambienti aridi o semi-aridi, dove l’acqua è il fattore limitante principale per il rendimento del suolo. Negli ambienti del Mediterraneo una causa fondamentale è giocata dalla perdita fisica di suolo, causata dall’erosione idrica e, la conseguente perdita d’elementi nutritivi. In alcune aree ulteriore attenzione va posta per i problemi di salinizzazione.

Più in particolare, il fenomeno della desertificazione in ambiente mediterraneo, come evidenziato dalla letteratura scientifica, è un processo complesso determinato dalla concomitanza di fattori climatici, litologici, vegetazionali e di gestione del territorio. Per tale ragione la valutazione nel tempo dei fenomeni di desertificazione di un territorio può svolgersi solo attraverso lo studio dei molteplici fattori che lo determinano e quindi attraverso un monitoraggio integrato delle diverse matrici ambientali coinvolte nel processo grazie a strumenti metodologici capaci di trasformare i dati raccolti in informazioni sul grado di vulnerabilità alla desertificazione del territorio e quindi in strumenti di supporto alle decisioni.

I processi degenerativi si verificano in modo particolare laddove sussistono fattori predisponenti legati a tipologie territoriali e caratteristiche ambientali, quali:

- ECOSISTEMI FRAGILI (tutte quelle aree caratterizzate da delicati equilibri bio-fisici, quali ambienti di transizione, lagune e stagni costieri, aree dunari e retrodunari, aree calanchive etc.)
- LITOLOGIA (formazioni sedimentarie argilloso - sabbiose, formazioni gessoso - solfifere etc.)
- IDROLOGIA (aree di ricarica degli acquiferi, falde superficiali, aree costiere, etc.)
- PEDOLOGIA (scarsa profondità radicabile del suolo, struttura assente o debolmente sviluppata, scarsa dotazione in sostanza organica, bassa permeabilità, etc.)

- MORFOLOGIA (forte acclività, esposizione dei versanti agli agenti atmosferici, etc.)
- VEGETAZIONE (terreni privi o con scarsa copertura vegetale, etc.)
- AREE GIA' COMPROMESSE (aree disboscate, aree già sottoposte ad attività estrattive, discariche, siti contaminati, etc.).

Per quanto concerne l'aspetto relativo alle attività umane, le principali pressioni antropiche che possono incidere sulla desertificazione sono legate alle attività produttive e ai loro impatti: agricoltura, zootecnica, gestione delle risorse forestali, incendi boschivi, industria, urbanizzazione, turismo ed altre.

# Metodologia

## Descrizione del modello Medalus

Il metodo utilizzato, sviluppato all'interno del progetto dell'Unione Europea MEDALUS (Mediterranean Desertification And Land Use), è stato elaborato da Kosmas et al. (1999) per lo studio delle aree vulnerabili alla desertificazione nell'isola di Lesvos (Grecia) e ha trovato applicazione in tre aree test di altrettanti Paesi del Mediterraneo (Italia, Portogallo e Spagna). La metodologia, nota come ESAs (**E**nvironmentally **S**ensitive **A**reas), ha lo scopo di individuare le aree sensibili alla desertificazione, attraverso l'applicazione di indicatori sia biofisici che socio-economici che consentono di classificare le aree in critiche, fragili e potenziali.

La Metodologia MEDALUS si basa sull'identificazione di "Aree Ambientali Sensibili alla desertificazione (ESAs)" e consiste in un approccio multifattoriale dei processi ambientali in atto, sia sulla conoscenza generale che su quella locale. La metodologia in questione definisce 4 classi d'indicatori di desertificazione afferenti alle seguenti categorie:

- Suolo (6 indicatori);
- Clima (3 indicatori);
- Vegetazione (4 indicatori);
- Gestione del territorio (3 indicatori).

Il modello "MEDALUS" presuppone che ciascuno dei quattro indici abbia individualmente solo una limitata capacità di influenza sul valore finale dell'indice ESA e che solo quando più parametri hanno un alto punteggio un'area può essere assegnata ad una classe di alta sensibilità. Il modello MEDALUS lascia, inoltre, la possibilità di variare il numero di parametri da utilizzare per la valutazione degli indici di qualità.

Attraverso i primi tre indici si ottiene un quadro dello stato delle condizioni ambientali, mentre l'ultimo indice esprime una valutazione della pressione esercitata dalle attività antropiche; dalla media dei quattro indici si determina l'indice ESA di sensibilità ambientale.

La metodologia è basata sulla classificazione di ciascun indice di qualità ottenuto come media geometrica degli indicatori ambientali ed antropogenici disponibili. Tali indicatori vengono quantificati assegnando ad ognuno di essi un punteggio in relazione alla sua influenza

sui processi di desertificazione. La metodologia prevede l'elaborazione di 4 Indici di Qualità a partire dalle variabili alle quali è attribuito un valore numerico sulla base della maggiore o minore influenza sul processo della desertificazione.

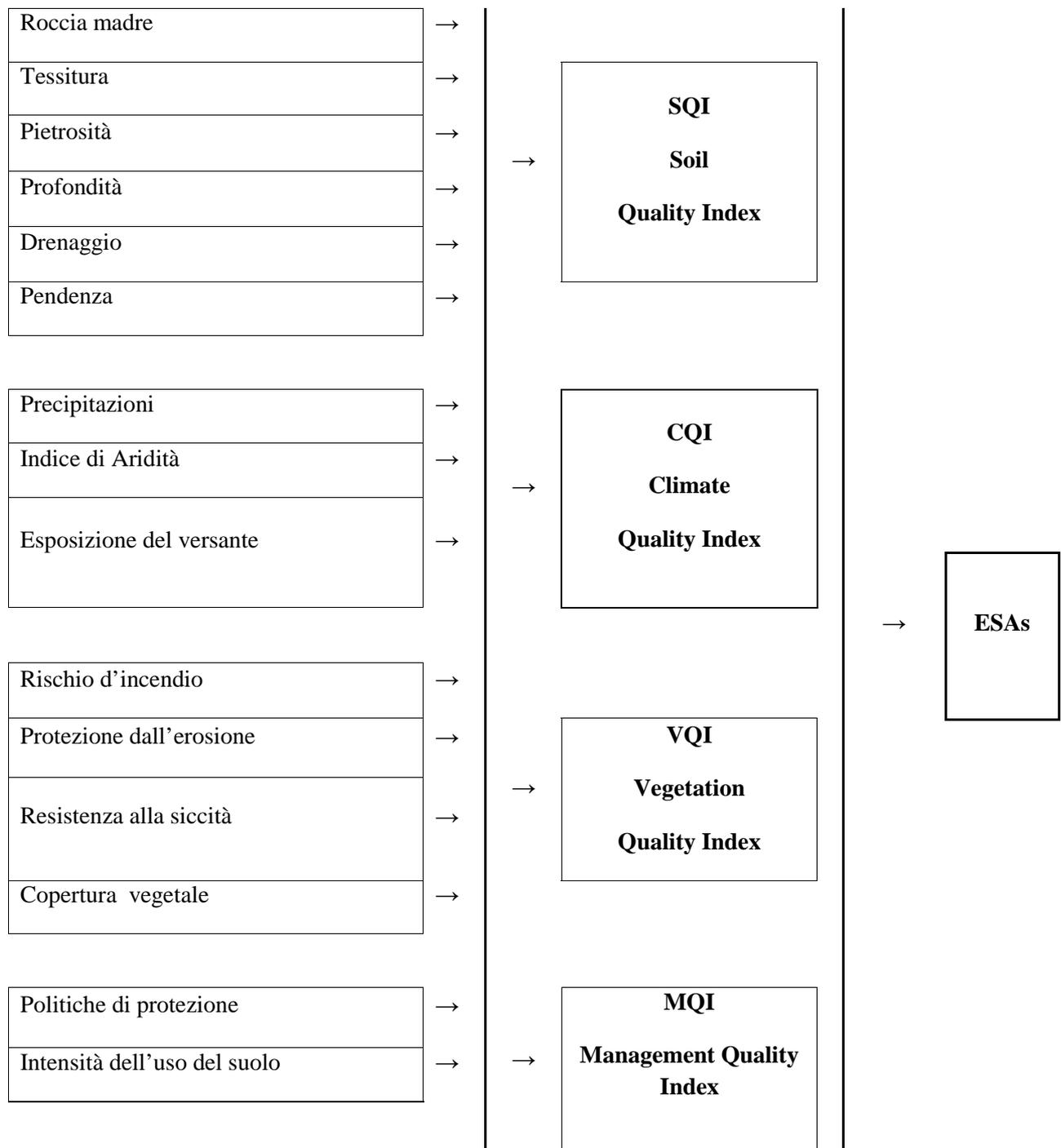
Si ottengono così tramite media geometrica dei vari strati informativi i 4 indici di qualità:

- 1. Indice di Qualità del Suolo - SQI**
- 2. Indice di Qualità del Clima - CQI**
- 3. Indice di Qualità della Vegetazione - VQI**
- 4. Indice di Qualità di Gestione - MQI**

Dalla combinazione, tramite media geometrica, dei quattro indici si ottiene l'indice sintetico ESAI (Environmental Sensitive Areas Index):

$$ESAI = (SQI * CQI * VQI * MQI)^{1/4}$$

Seguendo la metodologia proposta dagli autori (Kosmas et al., 1999), l'individuazione delle aree sensibili alla desertificazione dovrebbe seguire il seguente schema:



## **L'applicazione della metodologia a scala regionale**

L'applicazione del modello MEDALUS a scala regionale, per l'individuazione delle aree sensibili alla desertificazione, ha reso necessaria una serie di lievi modifiche per identificare i corretti indicatori da utilizzare in base alla natura e disponibilità delle banche dati esistenti.

È bene sottolineare come, rispetto a quanto proposto da Kosmas et al. (1999), sia stato necessario apportare adeguate modifiche nell'applicazione della metodologia ESAs alla Sicilia. Le caratteristiche pedologiche, climatiche, di uso del suolo, nonché la disponibilità di dati, hanno imposto, in alcuni casi, delle scelte metodologiche differenti rispetto al modello originale, che sono motivate nei paragrafi descrittivi dei singoli indicatori.

Le principali attività svolte sono state le seguenti:

- Definizione del set di indicatori
- Acquisizione
- Elaborazione dati
- Calcolo degli indici

### **Definizione del set di indicatori**

L'aggiornamento della "Carta della sensibilità alla desertificazione in Sicilia" è stato svolto grazie alla proficua collaborazione tra gli Enti regionali di diversi settori, quali il Dipartimento Regionale Ambiente (comprendente anche l'ARPA), il Dipartimento Regionale Interventi Infrastrutturali per l'Agricoltura, il Comando del Corpo Forestale ed il Dipartimento Regionale dell'Acqua e dei Rifiuti.

Si sono pertanto condivise le rispettive informazioni ed esperienze presenti a livello regionale sulla tematica desertificazione, valutate le banche dati disponibili, definendo il set di indicatori riportato nella Tabella 1.

<b>LAYER</b>	<b>INDICATORI</b>	<b>CARTA</b>
SUOLO	Litologia	Carta dell'Indice di Qualità del Suolo <b>SQI</b>
	Pietrosità	
	Profondità del suolo	
	Pendenza	
	Drenaggio	
	Tessitura del suolo	
CLIMA	Esposizione dei versanti	Carta dell'Indice di Qualità del Clima <b>CQI</b>
	Erosività delle precipitazioni	
	Indice di aridità	
	Stagionalità delle precipitazioni	
VEGETAZIONE	Rischio d'incendio	Carta dell'Indice di Qualità della Vegetazione <b>VQI</b>
	Protezione dall'erosione	
	Resistenza alla siccità	
	Grado di copertura vegetale	
GESTIONE	Politiche di protezione	Carta dell'Indice di Qualità della Gestione <b>MQI</b>
	Intensità dell'uso del suolo	
	Indice di Pressione antropica	

## Acquisizione, elaborazione dati e calcolo degli indici

Per poter calcolare ed elaborare i vari indicatori allo scopo di ottenere la carta finale delle Aree Sensibili alla Desertificazione, è stato necessario ricorrere all'uso delle tecniche GIS. Gli indicatori individuati sono stati elaborati con il software ARC GIS della ESRI utilizzando strumenti di analisi spaziale. I singoli indicatori, in formato vettoriale, sono stati riprogettati nel sistema di coordinate UTM-WGS84 fuso 33 N e, per ognuno di essi, è stato creato un attributo che contiene un valore calcolato secondo la metodologia di Kosmas (1999).

Le carte tematiche ottenute sono state trasformate in formato raster grid con una maglia di campionamento di 100 x 100 metri.

Tutti i grid fanno riferimento, per avere le celle perfettamente allineate, al grid DEM100 che è il ricampionamento del DEM 40 x 40 metri derivato dai file ascii delle ortofoto IT2000 ed elaborato dall'area 2 Inderdipartimentale SITR.

Si è proceduto a calcolare una media geometrica tra i diversi punteggi degli indicatori per cui:

$$\text{Qualità Carta X} = (\text{indicatore 1} \times \text{indicatore 2} \times \dots \times \text{indicatore n})^{1/n}$$

in modo da ottenere le quattro carte relative agli indici di qualità (SQI, VQI, CQI, MQI).

Infine, sempre utilizzando lo strumento map algebra, si è proceduto al calcolo dell'ESAI secondo la seguente formula:

$$\text{ESAI} = (\text{SQI} \times \text{CQI} \times \text{VQI} \times \text{MQI})^{1/4}$$

## **1 Carta dell'Indice di Qualità del Suolo (SQI)**

Il suolo riveste un ruolo fondamentale nei processi di desertificazione degli ecosistemi delle aree semi-aride e sub-umide, soprattutto nei casi in cui la profondità del suolo, necessaria per il minimo sostentamento fisico degli apparati radicali delle piante e per il contenimento dell'acqua e degli elementi nutritivi, è troppo ridotta. Ai fini della desertificazione, la qualità del suolo si esprime in considerazione della disponibilità idrica e della resistenza al fenomeno erosivo.

I dati sui suoli regionali sono stati ricavati dalla banca dati dei suoli regionali dell'Assessorato regionale delle Risorse Agricole e Alimentari – Dipartimento Interventi Infrastrutturali per l'Agricoltura, che è stata creata e implementata con il contributo e la collaborazione del Consiglio per la Ricerca e la Sperimentazione in Agricoltura - Centro di ricerca per l'Agrobiologia e la Pedologia di Firenze (CRA-ABP). Nella banca dati sono raccolte e armonizzate tutte le informazioni puntuali e geografiche sui suoli regionali prodotte nel tempo dalle istituzioni di ricerca e dalla pubblica amministrazione. Le osservazioni pedologiche puntuali sono organizzate al loro interno e sistemate in unità e sottounità tipologiche di suolo che vengono correlate con i vari livelli geografici (sistemi di terre, sottosistemi di terre e unità di terre) in cui, in funzione della scala e del contenuto informativo, è stato suddiviso il territorio regionale; la spazializzazione delle informazioni pedologiche e le correlazioni geografiche vengono sviluppate grazie a una metodologia messa a punto dal CRA-ABP di Firenze in armonia con le indicazioni contenute nel "Manuale delle Procedure per il Database Georeferenziato dei Suoli Europei" edito dall'European Soil Bureau e con le ricerche attualmente condotte a livello internazionale sullo studio delle relazioni fra il suolo e il suo ambiente.

In pedologia il suolo viene inteso come un sistema complesso parte di un altro sistema complesso, l'ambiente; l'origine, le caratteristiche e le qualità di un suolo sono correlate all'azione di alcuni fattori, i cosiddetti "fattori della pedogenesi", che agiscono congiuntamente sulla genesi e sull'evoluzione di un suolo e che, trattandosi di componenti dell'ambiente naturale (fattori di stato ambientali), possono essere riferiti a delle definite superfici territoriali omogenee, i cosiddetti pedopaesaggi. "Il pedopaesaggio è un tratto di superficie terrestre che ha un certo significato pedologico: raccoglie suoli che hanno in comune una o più caratteristiche, proprietà o

processi, ed è individuabile da un insieme di condizioni climatiche, litologiche, morfologiche, pedologiche, di uso del suolo e di vegetazione” (Costantini et al. 2007).

Facendo riferimento al “Manuale delle Procedure per il Database Georeferenziato dei Suoli Europei”, le informazioni pedologiche sono organizzate geograficamente nelle diverse scale come di seguito indicato:

<b>AMBITO DI APPLICAZIONE</b>	<b>LIVELLO PEDOPAESAGGISTICO</b>	<b>SCALA DI RIFERIMENTO</b>
Continentale/ Nazionale	Regioni pedologiche	1:5.000.000
Nazionale / Regionale	Province di terre	1:1.000.000
Nazionale / Regionale	Sistemi di terre / pedologici	1:500.000
Nazionale / Regionale	Sottosistemi di terre / pedologici	1:250.000
Regionale / Locale	Unità di terre / pedologiche	1:50.000
Locale	Elementi territoriali	1:10.000-25.000

Tabella 1.1

- Regioni pedologiche (soil region), layer poligonale a copertura nazionale e regionale, con dettaglio informativo e geografico corrispondente alla scala 1:5.000.000;
- Province, layer poligonale, a copertura parziale regionale, con dettaglio informativo e geografico corrispondente alla scala 1:1.000.000; a livello nazionale è stato utilizzato per individuare all’interno delle soil regions aree fisiograficamente omogenee, utili per la delineazione dei sistemi di terre; può essere creato con metodologia “ascendente” dai sistemi di terre;
- Sistemi, layer poligonale, a copertura nazionale e regionale, con dettaglio informativo e geografico corrispondente alla scala 1:500.000;
- Sottosistemi, layer poligonale a copertura regionale, con dettaglio informativo e geografico corrispondente alla scala di 1:250.000.

Si definisce “sistema di terre” un’unità cartografica, cioè l’insieme di poligoni (la scala di riferimento è 1: 500.000) caratterizzati da attributi geografici simili (litologia, morfologia, uso del suolo), con legende appropriate per questo livello di dettaglio, cioè che esprimono la percezione e l’influenza dei fattori della pedogenesi a questa scala.

Si definisce “sottosistema di terre” un’unità cartografica, cioè l’insieme di poligoni (la scala di riferimento è 1:250.000) caratterizzati da attributi geografici simili (litologia,

morfologia, uso del suolo), con legende appropriate per questo livello di dettaglio, cioè che esprimono la percezione e l'influenza dei fattori della pedogenesi a questa scala.

Si definisce “unità di terre” un'unità cartografica, cioè l'insieme di poligoni (la scala di riferimento è 1: 50.000) caratterizzati da attributi geografici simili (litologia, morfologia, uso del suolo), con legende appropriate per questo livello di dettaglio, cioè che esprimono la percezione e l'influenza dei fattori della pedogenesi a questa scala.

Si definisce “elemento di terre” la geografia del sito di rilevamento, descritta con le legende utilizzate nel manuale di rilevamento. L'elemento territoriale può essere individuato con un centroide, nelle finestre di rilevamento, ma non viene cartografato (potrebbe esserlo in un rilevamento di dettaglio o grande dettaglio, e.g. a scala 1:10.000 - 1:25.000).

Si definisce “sistema, sottosistema o unità pedologica” il singolo poligono a cui vengono attribuite le informazioni pedologiche, e.g. tipologie di suolo. Il livello di generalizzazione dell'informazione pedologica potrebbe essere differente nei tre livelli, ma per ragioni di opportunità ed economia, è bene che sia lo stesso.

Le unità tipologie di suolo (UTS) e le sottounità tipologiche di suolo (STS) sono i contenitori dell'informazione pedologica e la base per le interpretazioni. Le UTS generalizzano maggiormente le informazioni puntuali, per cui sono meglio rappresentate alle scale più piccole e le STS a quelle più grandi.

Le caratteristiche pedologiche (indicatori chiave) prese in considerazione per valutare l'indice di qualità del suolo e stimare ed individuare la sensibilità ambientale alla desertificazione del territorio regionale sono: la litologia, la pietrosità superficiale, la pendenza, la profondità radicabile, la tessitura dello strato superficiale e il drenaggio interno.

Le proprietà del suolo selezionate sono state tratte dalle osservazioni pedologiche puntuali contenute nel data base e organizzate in unità e sottounità tipologiche di suolo; le osservazioni puntuali (profili, pozzetti, trivellate) contengono informazioni sul paesaggio e sulle caratteristiche chimiche e fisiche del suolo riferite a quel determinato punto dove i dati sono stati raccolti. Per ogni dato puntuale sono definiti i fattori ambientali della pedogenesi (morfologia, litologia, uso del suolo), le regioni pedologiche, i sistemi di terre e i sottosistemi di terre d'appartenenza semantica.

Questi dati determinano la componente territoriale di cui il suolo è espressione. Lo strato geografico utilizzato nel presente lavoro per spazializzare i dati pedologici regionali è rappresentato dai sottosistemi di terre. La banca dati dei suoli regionali comprende 9861 osservazioni puntuali ed è aggiornata all'anno 2010, mentre la banca dati dei sottosistemi si compone di 5010 poligoni. Dal punto di vista operativo sono state selezionate le specifiche proprietà del suolo individuate quali indicatori chiave per la stima della sensibilità ambientale alla desertificazione e gli sono stati assegnati dei valori, in seguito il processo di attribuzione di un valore ad ogni punto dello spazio è stato ottenuto stabilendo il legame fra poligoni e profili ed è stato generato automaticamente dal software della banca dati tramite una serie di funzioni originali.

Nello studio sono state prese in considerazione le seguenti caratteristiche e qualità del suolo:

- Roccia madre
- Pietrosità
- Profondità
- Pendenza
- Drenaggio
- Tessitura

## **1.1 Roccia madre**

La roccia madre rappresenta il materiale da cui prende origine il suolo. E' molto importante poiché molti dei caratteri acquisiti dal suolo dipendono dalle caratteristiche chimiche e fisiche del materiale di partenza. Suoli originatisi su differenti substrati reagiscono in maniera differente all'erosione e possono portare a gradi differenti di desertificazione. Ad esempio i suoli derivati da rocce metamorfiche sono generalmente poco profondi, facilmente erodibili e non consentono un rapido ripristino della vegetazione.

Caratteristiche simili presentano i suoli formati su rocce piroclastiche, come ad esempio gli affioramenti plio-quadernari della porzione settentrionale degli Iblei; le rocce piroclastiche presentano uno spessore molto ridotto, elevata erodibilità e conseguente elevato rischio di desertificazione. Al contrario, i suoli formati sui conglomerati e le rocce effusive basiche,

possono mantenere un buono stato idrico anche durante gli anni siccitosi e conseguentemente una buona copertura vegetale del terreno e un'elevata produzione di biomassa.

Queste considerazioni di carattere generale devono essere valutate all'interno della variabilità litologica regionale che è caratterizzata soprattutto da rocce sedimentarie clastiche e carbonatiche, che presentano una forte alterazione dell'integrità litologica per effetto della tettonica.

La base informatica utilizzata è costituita dalla carta geologica regionale a scala 1:100.000, utilizzata per il Piano di Gestione del Distretto Idrografico della Sicilia, prodotto nel 2009. Questa carta a sua volta è derivata, con nuovi accorpamenti in base alle formazioni geologiche principali, dalla Carta Litologica annessa al Piano Regionale dei Materiali Lapidei e dei materiali di pregio edizione 2002.

La metodologia applicata, nel suo schema classico identificato da Kosmas, determina un'attribuzione qualitativa del valore da attribuire ai singoli tipi geologici basata su tre valori indice, rispettivamente 1 – 1,7 e 2, rispetto ad una valutazione della sensibilità ai processi erosivi bassa, media ed alta.

Nel caso della Sicilia si è preferito inserire una quarta categoria intermedia tra i valori di qualità buona e moderata, a cui si è attribuito il valore di 1,4.

Questo soprattutto per la presenza di numerosi tipi litologici a cui corrispondono suoli autoctoni con un comportamento di media qualità ma non eccessivamente basso, considerando quindi troppo eccessiva la differenza tra il valore 1 ed il valore 1,7 della suddivisione teorica proposta dalla metodologia originaria. Ciò è particolarmente valido per rocce clastiche di sequenze fliscioidi, cioè a rapida sedimentazione; queste hanno una prevalenza di depositi pelitici ed argillosi che determinano suoli profondi nell'orizzonte C, con orizzonti A e B piuttosto ridotti. La pietrosità derivante è ridotta o localizzata alla base degli affioramenti di intercalazioni maggiormente litoidi tipo arenarie o calcari.

Le sequenze fliscioidi a maggiore presenza di arenarie e sabbie sono state inserite nella classe inferiore con valore pari a 1,7.

Nel caso della formazione Terravecchia, anch'essa di natura fliscioide, si è preferito posizionarla nella classe di minore sensibilità, in considerazione delle morfologie più dolci e di

una minore presenza di intercalazioni arenitico - sabbiose. Valori di minore qualità sono stati attribuiti alle piroclastiti degli Iblei, alle marne calcaree del Pliocene (Trubi) e ai depositi sabbiosi di età messiniana della zona trapanese, tra gli abitati di Salemi e Vita.

Nella tabella 1.2 sono riportati i diversi tipi di roccia madre e gli indici di sensibilità alla desertificazione corrispondenti.; la Cartografia relativa è riportata in Fig. 1.

<b>Classe</b>	<b>Legenda</b>	<b>Roccia Madre</b>	<b>Indice</b>
1	Predisposizione all'erosione bassa	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Detrito, Alluvioni, sabbie - Recente ed Attuale</li> <li>▪ Formazione Terravecchia - Tortoniano</li> </ul>	1
2	Predisposizione all'erosione media	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Argille brecciate - Miocene e Pliocene</li> <li>▪ Argille Varicolori - Cretaceo - Miocene</li> <li>▪ Calcareniti organogene quaternarie</li> <li>▪ Formazioni carbonatiche Meso - Cenozoiche</li> <li>▪ Arginiti, marne, calcari e siltiti - Flysch Carni</li> <li>▪ Flysch Monte Soro - Cretaceo - Miocene</li> <li>▪ Flysch Numidico - Oligocene Miocene</li> <li>▪ Flysch Troina - Arenarie, marne e siltiti - Cretaceo Oligocene</li> <li>▪ Calcari e Calcareniti degli Iblei - Cenozoico</li> <li>▪ Formazioni carbonatiche Meso - Cenozoiche</li> <li>▪ Complesso metamorfico di basso grado - Paleozoico</li> <li>▪ Unità Longi-Taormina - Basamento epimetamorfico - Paleozoico</li> <li>▪ Unità Longi-Taormina - Sequenze carbonatiche - Meso Cenozoiche</li> <li>▪ Unità Stilo-Capo d'Orlando- Oligo miocene</li> <li>▪ Vulcaniti Plio - quaternarie</li> </ul>	1.4
3	Predisposizione all'erosione alta	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Argille sabbiose del Pliocene medio - sup.</li> <li>▪ Detrito ed argille (Paleofrane) - Recente</li> <li>▪ Flysch Reitano - Miocene sup</li> <li>▪ Formazione gessoso-solfifera - Messiniano</li> <li>▪ Formazione Polizzi - Tufiti di Tusa - Eocene</li> <li>▪ Calcareniti e marne - Cenozoico</li> <li>▪ Formazioni silico - marnose Meso - Cenozoiche</li> <li>▪ Complesso metamorfico di alto grado - Paleozoico</li> <li>▪ Marne e Calcareniti - Oligocene Miocene</li> <li>▪ Unità Floresta, Calcareniti e Arenarie - Miocene</li> </ul>	1.7

4	Predisposizione all'erosione elevata	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Marne calcaree - Trubi - Pliocene ini</li> <li>▪ Sabbie e arenarie del messiniano</li> <li>▪ Piroclastiti Plio - quaternarie</li> </ul>	2
---	--------------------------------------	--	---

Tabella 1.2

## 1.2 Pietrosità

Con il termine pietrosità si indica la percentuale di pietre o altri materiali, di dimensioni >2 mm, presenti sulla superficie del suolo. La pietrosità ha un effetto determinante, anche se variabile, sul ruscellamento e sull'erosione del suolo, sulla capacità idrica dei suoli e sulla produzione di biomassa, tale da svolgere un importante ruolo nella protezione del suolo in ambiente mediterraneo (Kosmas et al., 1999). La presenza di ciottoli, nonostante l'aumento del ruscellamento e dell'erosione, consente una maggiore conservazione dell'umidità in condizione di moderato deficit idrico nel periodo primaverile e in quello estivo, i più cruciali per lo sviluppo e la produttività delle specie invernali.

In base alle considerazioni esposte, sono state proposte (Kosmas, 1999) tre classi di pietrosità crescente alle quali corrisponde un maggiore rischio di erosione, riportate nella tabella 1.3. I dati provengono dall'elaborazione della banca dati dei suoli regionali dell'Assessorato regionale delle Risorse Agricole e Alimentari – Dipartimento Interventi Infrastrutturali per l'Agricoltura. La Cartografia relativa è riportata in Fig. 2.

Classe	Pietrosità (%)	Indice
1	>60	1.0
2	20-60	1.3
3	<20	2.0

Tabella 1.3

## 1.3 Profondità

La profondità del suolo è intesa come lo spessore tra il confine del suolo e uno strato continuo e coerente sottostante, in particolare la profondità radicabile esprime la distanza tra la superficie e gli orizzonti o strati del suolo con caratteristiche tali da ostacolare lo sviluppo e l'approfondimento degli apparati radicali. In generale, all'aumentare della profondità di un suolo

aumenta la capacità di riserva idrica e di conseguenza il grado di copertura vegetale, condizioni che determinano maggiore resistenza all'erosione e alla desertificazione.

La tabella 1.4 mostra le diverse classi di profondità dei suoli e l'indice di desertificazione corrispondente. I dati provengono dall'elaborazione della banca dati dei suoli regionali dell'Assessorato regionale delle Risorse Agricole e Alimentari – Dipartimento Interventi Infrastrutturali per l'Agricoltura. La cartografia relativa è riportata in Fig.3.

<b>Classe</b>	<b>Descrizione</b>	<b>Profondità (cm)</b>	<b>Indice</b>
1	Profondo	>75	1.0
2	Moderato	30-75	2.0
3	Poco profondo	15-30	3.0
4	Molto poco profondo	<15	4.0

Tabella 1.4

## 1.4 Pendenza

La pendenza e le altre caratteristiche topografiche sono molto importanti nel determinare il livello di erosione di un suolo, che è considerato grave quando l'angolo di pendenza raggiunge valori pari o maggiori rispetto ad una soglia critica e successivamente cresce in modo esponenziale. Nei suoli a forte pendenza il rischio di erosione dipende dalla frequenza delle precipitazioni con elevata intensità ed è accentuato se associato ad una gestione agronomica poco conservativa (lavorazioni profonde ed eseguite secondo le linee di massima pendenza, ecc.).

Il calcolo delle classi di pendenza è stato effettuato attraverso l'elaborazione di un DEM (Digital Elevation Model) con risoluzione spaziale di 40x40 metri. I valori di pendenza che definiscono le classi differiscono da quelli consigliati dalla metodologia secondo Kosmas. Si è ritenuto opportuno apportare questa correzione in modo da considerare classi di pendenza standard che trovano ampio riscontro in letteratura (cfr. Madrau et al., 1999).

La tabella seguente mostra le classi di pendenza e gli indici corrispondenti.

<b>Classe</b>	<b>Pendenza (%)</b>	<b>Indice</b>
1	<6	1.0
2	6-18	1.2
3	18-35	1.5
4	>35	2.0

Tabella 1.5

la cartografia relativa è riportata in Fig.4.

## 1.5 Drenaggio

Rappresenta una qualità del suolo relativa alla frequenza e alla durata dei periodi durante i quali il suolo non è saturo o è parzialmente saturo di acqua. La valutazione si riferisce alle condizioni stagionali più limitanti. E' un dato molto importante per capire le potenzialità produttive di un suolo e fornisce utili indicazioni sulle sue limitazioni ambientali e gestionali. Condizioni di drenaggio imperfetto associate all'utilizzo di acque irrigue di scarsa qualità (saline), in particolare negli ambienti caldo aridi caratterizzati da elevata evapotraspirazione, determinano il mancato trasporto dei sali verso gli strati più profondi favorendo così il processo di salinizzazione del suolo e il rischio di desertificazione.

In base a tali considerazioni, si possono definire le classi indicate nella tabella 1.6. I dati provengono dall'elaborazione della banca dati dei suoli regionali dell'Assessorato regionale delle Risorse Agricole e Alimentari – Dipartimento Interventi Infrastrutturali per l'Agricoltura. La cartografia relativa è riportata in Fig.5.

<b>Classe</b>	<b>Drenaggio</b>	<b>Indice</b>
1	Ben drenato	1.0
2	Imperfettamente drenato	1.2
3	Scarsamente drenato	2.0

Tabella 1.6

## 1.6 Tessitura

Si definisce tessitura del suolo la distribuzione in classi di grandezza delle particelle elementari del suolo. La distribuzione in classi che si applica alla frazione minerale del suolo di dimensioni inferiori ai 2 mm definisce i limiti di dimensione della sabbia, del limo e dell'argilla.

La conoscenza delle caratteristiche tessiturali e della struttura dei suoli è di fondamentale importanza per definire alcune caratteristiche degli stessi, in particolare la capacità di ritenzione idrica e il rischio di erosione, due fattori chiave nei processi di desertificazione.

La classificazione utilizzata è quella consigliata dal Dipartimento di Agricoltura degli Stati Uniti (USDA) del 1975, che distingue i diversi tipi di suolo in base alla composizione in sabbia, limo e argilla, di seguito brevemente schematizzata:

A = Argilloso
AL = Argilloso - limoso
AS = Argilloso - sabbioso
FLA = Franco - limoso - argilloso
FA = Franco - argilloso
FSA = Franco - sabbioso-argilloso
FL = Franco-limoso
F = Franco
FS = Franco - sabbioso
SF = Sabbioso - franco

Tabella 1.7

In base a questa classificazione, a ciascun gruppo tessiturale è stato assegnato un indice in relazione alla maggiore o minore capacità di trattenere l'acqua e di resistere all'erosione:

Classe	Classi tessiturali	Indice
1	F, FSA, FS, SF, FA	1.0
2	AS, FL, FLA	1.2
3	L, A, AL	1.6
4	S	2.0

Tabella 1.8

La cartografia relativa è riportata in Fig. 6

## 1.7 Calcolo dell'Indice di Qualità del Suolo (SQI)

L'Indice di Qualità del Suolo è stato ottenuto, attraverso l'uso di tecniche GIS, dalla media geometrica dei sei indicatori sopra descritti:

$$SQI = (\text{litologia} \times \text{pietrosità} \times \text{profondità} \times \text{pendenza} \times \text{drenaggio} \times \text{tessitura})^{1/6}$$

Il risultato di tale elaborazione è un indice inteso come piano informativo che possiede dei valori numerici esplicativi di classi di qualità del suolo. La tabella qui riportata elenca i limiti delle classi:

Indice di Qualità del Suolo	Descrizione	Range
1	Qualità alta	<1.13

2	Qualità media	1.13-1.46
3	Qualità elevata	>1.46

Tabella 1.9

La cartografia relativa all'Indice di **Qualità del suolo** prodotta dalla sovrapposizione delle carte ancillari pertinenti è riportata in Fig.7

## 2 Carta dell'Indice di Qualità del Clima (CQI)

Il deficit idrologico, la distribuzione irregolare delle precipitazioni durante l'anno, la frequenza degli eventi estremi e la conseguente durata irregolare della stagione vegetativa, nell'ambiente mediterraneo sono le principali caratteristiche del clima che contribuiscono al degrado del territorio.

Gli indicatori di qualità del clima considerati in questo lavoro sono: l'esposizione dei versanti, l'erosività delle precipitazioni, l'indice di aridità e la stagionalità delle precipitazioni.

La cartografia relativa all'Indice di Qualità del Clima prodotta dalle carte ancillari sovrapposte è riportata in Fig. 8

### 2.1 Esposizione dei versanti

L'esposizione dei versanti, in relazione all'influenza che la stessa ha sugli elementi climatici, è ritenuta un importante fattore per quanto attiene i processi di degradazione del territorio, alla luce dell'influenza che la stessa ha sull'ambiente microclimatico in funzione dell'angolo e della durata dell'incidenza dei raggi solari sulla superficie del terreno. Negli ambienti mediterranei, le aree con esposizione dei versanti a sud e ad ovest sono quelle interessate da una più elevata quantità di energia solare incidente. Queste sono, pertanto, quelle più calde e mostrano livelli di evapotraspirazione più marcati ed una conseguente maggiore perdita di acqua, rispetto ai versanti esposti a nord e ad est. Di conseguenza, nei versanti sud ed ovest la vegetazione è sottoposta a maggiori livelli di stress idrico e i tassi di erosione sono maggiori, se rapportati a quelli dei versanti nord ed est (Poesen et al., 1998). Gli studi effettuati da Kosmas et al. (1999) in ambienti caratterizzati da diverse tipologie di vegetazione hanno rilevato che il livello di erosione osservato lungo i versanti esposti a sud sia pari a circa il doppio

o anche superiore rispetto ai versanti nord. In funzione di questi studi è stato possibile determinare i seguenti indici:

<b>Classe</b>	<b>Esposizione</b>	<b>Indice</b>
1	NO-NE	1.0
2	SO-SE	2.0

Tabella 2.1

Il dato cartografico di base, preso come riferimento per il calcolo dell'esposizione, è il DEM (Digital Elevation Model) con una risoluzione spaziale di 40 metri. Questo livello di dettaglio, considerata la nostra scala di lavoro, consente una buona distinzione delle diverse esposizioni dei versanti, e quindi delle conseguenze sulle condizioni energetiche e climatiche che possono condizionare i processi di erosione, in relazione allo stato della vegetazione. . La cartografia relativa è riportata in Fig. 9

## **2.2 Erosività delle precipitazioni**

Nella caratterizzazione climatica del territorio siciliano, ai fini della determinazione delle zone sensibili alla desertificazione, deve essere preso in considerazione tra gli indicatori rappresentativi quello riguardante l'erosione idrica superficiale. Questa scelta discende dalle peculiarità dell'ambiente mediterraneo che è caratterizzato, oltre che da una notevole variabilità delle precipitazioni, sia nell'arco di un singolo anno che in un periodo pluriennale, anche da una loro concentrazione nel tempo. Infatti, in particolare in Sicilia le precipitazioni risultano distribuite in un numero limitato di giorni piovosi all'interno dell'anno (mediamente 65 giorni), che si concentrano in pochi mesi. Gli eventi di precipitazione sono inoltre spesso caratterizzati da elevati valori di intensità. Per questa ragione non è corretto rappresentare le caratteristiche pluviometriche solo attraverso i valori totale annui, ma devono essere rappresentati anche in termini di intensità al fine di tenere conto dell'influenza del clima sui processi erosivi.

L'aggressività della pioggia, individuata dall'indice di aggressività delle piogge "R" utilizzato nell'ambito dei modelli USLE, costituisce un importante elemento di riferimento perché da un lato tiene conto di alcuni importanti parametri che caratterizzano l'agente erosivo, quali l'energia e l'intensità della pioggia, dall'altro è spesso l'unico strumento che consente di

stabilire quali sono, in un dato territorio, le aree a maggior rischio erosivo e quindi quelle che necessitano di interventi di protezione del suolo. La complessità di calcolo di tale indice, sommata all'esigenza di avere delle informazioni riguardanti la distribuzione spaziale del rischio erosivo in una data regione, ha indotto numerosi ricercatori ad individuare delle metodologie semplificate per il calcolo di "R" ed approntare delle carte regionali delle isoerodenti, cioè delle linee ad ugual valore dell'indice di aggressività.

Il fattore "R" sintetizza l'influenza del clima sulla perdita di suolo, attraverso la valutazione degli effetti provocati dalla pioggia battente su un suolo erodibile.

Il calcolo di "R" secondo le procedure indicate da Wischmeier si presenta alquanto complesso e non sempre sono disponibili sufficienti dati pluviografici.

Sono stati, pertanto, sviluppati metodi semplificati basati sul riconoscimento, all'interno di una regione climaticamente omogenea, di una correlazione tra i valori di "R" calcolati secondo le procedure originali e grandezze climatiche facilmente reperibili.

Per il territorio siciliano il fattore "R" risulta correlato linearmente al prodotto delle intensità delle piogge di durata 1, 6 e 24 ore e tempo di ritorno 2 anni, rispettivamente indicate  $I_{1,2}$ ,  $I_{6,2}$ ,  $I_{24,2}$  mediante la seguente relazione (Ferro et al. 1991):

$$R = 183,8 + 1,396 * I_{1,2} * I_{6,2} * I_{24,2}$$

Per il calcolo di "R" si è partiti dalla conoscenza della distribuzione spaziale delle piogge con assegnato tempo di ritorno  $T$

$$h_{t,T} = K a t^n$$

in cui  $h_{t,T}$  è l'altezza di pioggia di durata  $t$  e tempo di ritorno  $T$ , mentre  $K(T)$  è il coefficiente di scala, detto coefficiente di crescita, che dipende dal tempo di ritorno  $T$  e dal coefficiente di variazione della stazione CVS attraverso la seguente relazione:

$$K_T = 1 - CV (0,450 + 0,779 \ln(\ln(T/(T-1))))$$

Per l'applicazione si sono utilizzate le distribuzioni regionali (formato raster) dei parametri  $CV$ ,  $a$  e  $n$  ricavati per la Sicilia del Dipartimento di ingegneria idraulica dell'Università degli Studi di Palermo utilizzati per la redazione dei piani di assetto idrogeologico.

Per l'indicatore elaborato è stato creato un tematismo in ambiente "ArcGis" attribuendo valori dell'indicatore compresi tra 1 e 2:

Classe	Qualità	Indice
1	Alta	1.0
2	Medio - alta	1.25
3	Media	1.5
4	Medio bassa	1.75
5	Bassa	2

Tabella 2.2

La cartografia relativa è riportata in Fig. 10

## 2.3 Indice di aridità

L'indice di aridità, nel nostro caso, è dato dal rapporto fra i valori totali annui di l'evapotraspirazione potenziale e i valori totali annui di precipitazioni. La carta dell'indice di aridità è stata ottenuta attraverso il calcolo raster in ambiente GIS, utilizzando come dati in input le carte di evapotraspirazione potenziale e delle precipitazioni, realizzate secondo la metodologia descritta nei paragrafi seguenti.

### Carte delle precipitazioni

Le carte delle precipitazioni sono quelle della seconda edizione dell'Atlante climatologico della Sicilia (Drago, 2002), a cui si rimanda per gli aspetti metodologici.

### **Carta dell'evapotraspirazione potenziale - Metodologia per la stima di ET<sub>0</sub> secondo penman-monteith, partendo da valori stimati secondo thornthwaite.**

In agrometeorologia e idrologia, l'evapotraspirazione, o potere evaporante dell'atmosfera, rappresenta la perdita di acqua dal suolo per evaporazione diretta dalle superfici libere e traspirazione delle piante. Tale processo bio-fisico si può misurare o stimare. Mentre per la misura si utilizzano metodi e strumenti in genere complessi e costosi (es. lisimetri), per la stima sono state messe a punto, nel tempo, diverse metodologie e algoritmi, basati sulle relazioni esistenti fra i processi evapotraspirativi e le diverse variabili meteorologiche. Tali algoritmi, in genere noti con il nome degli studiosi che li hanno proposti, si distinguono soprattutto per il numero di variabili meteorologiche considerate per la stima.

I metodi più recenti, caratterizzati da una maggiore completezza e affidabilità, sono basati sulle relazioni con tutte le variabili che influenzano il processo evapotraspirativo: radiazione solare, temperatura e umidità dell'aria, intensità del vento. Fra tali metodi, quello di Penman-Monteith, recentemente rivisto e proposto nell'ambito del quaderno FAO 56 (Allen et al. 1998), è considerato il più affidabile soprattutto per applicazioni giornaliere ed orarie.

Tuttavia, nei territori in cui si opera non sempre si dispone di serie storiche complete di dati meteorologici, per le quattro variabili necessarie alla stima secondo tali metodologie. Soprattutto nel passato, nella gran parte dei casi si disponeva solo di dati di temperatura dell'aria. In queste circostanze la scelta non può che limitarsi a quelle equazioni che utilizzano soltanto tale variabile, quale ad esempio quella di Thornthwaite (1957).

Nel nostro caso, per tenere conto della maggiore correttezza della stima utilizzando i metodi più completi, ma non disponendo di serie trentennali di dati delle quattro variabili necessarie, si è ricorso ad una doppia stima sulle stazioni della rete del SIAS, utilizzando contemporaneamente i metodi di Penman-Monteith e di Thornthwaite.

Da un confronto fra i due metodi, effettuato appunto sulle stazioni SIAS, si è osservato che i valori di ET<sub>0</sub> stimati con il metodo Thornthwaite sono sempre più bassi di quelli ottenuti attraverso la stima con il metodo Penman-Monteith FAO. Ciò è dovuto soprattutto alle componenti igrometrica e aerodinamica del processo evapotraspirativo, che chiaramente non viene bene sintetizzato dalla sola temperatura.

Ciò è infatti quello che si nota confrontando i dati dei valori stimati sulle stesse stazioni con i due metodi. Le stazioni che presentano differenze significative tra i due metodi sono quelle topograficamente più caratterizzate: il gruppo di stazioni con indice topografico elevato (site in zone convesse e quindi più ventilate) e il gruppo con indice topografico basso (siti con profilo concavo, ovvero depressioni topografiche, e quindi meno ventilate).

Ovviamente, nel primo caso le differenze sono positive (valori stimati secondo Penman-Monteith significativamente maggiori di quelli stimati secondo Thornthwaite), mentre nel secondo caso sono negative. Tenuto conto di ciò, si è quindi adottato il percorso metodologico descritto di seguito.

Le Carte di partenza sono quelle della seconda edizione dell'Atlante climatologico della Sicilia (trentennio 1965-1994), ottenute applicando il metodo di Thornthwaite in ambiente GIS: in particolare attraverso l'elaborazione dell'algoritmo proposto dall'Autore nell'ambito di ciascun singolo pixel (partendo, come dato meteorologico di input dalle carte di temperatura in formato raster) e non, come molte volte accade, attraverso l'interpolazione spaziale successiva all'elaborazione dell'algoritmo sui punti stazione.

Successivamente, per tenere conto appunto solo delle differenze anemometriche e igrometriche su base topografica, si sono utilizzati i parametri di correzione ottenuti dal confronto tra i valori mensili stimati con i due metodi sui punti stazione più significativi.

In particolare, si è effettuato il calcolo della media mensile settennale (2002-2008) del rapporto tra ET0PM ed ET0Th, per gruppi di stazioni omogenee, aventi le stesse caratteristiche anemometriche (quindi anche igrometriche): poco ventose, mediamente ventose e molto ventose.

Si è quindi messo a punto un algoritmo di correzione dei valori delle carte di partenza di ET0Th, a partire dai valori più bassi del suddetto rapporto (ottenuti nelle stazioni poco ventose), tenendo conto delle differenze tra i valori massimi (stazioni molto ventose) e i valori minimi (stazioni poco ventose), utilizzando come variabile-guida territoriale l'indice topografico.

Pertanto, i valori di ET0 stimata secondo il metodo Penman-Monteith sono dati dal prodotto dei valori di ET0Th per un fattore di correzione, ottenuto sommando al valore di ET0PM/ET0Th per le stazioni poco ventose il fattore di correzione topografica. Quest'ultimo a sua volta è dato dal prodotto dell'indice topografico per la differenza fra i valori massimi e minimi di ET0PM/ET0Th.

Esempio: applicazione mensile del seguente algoritmo:

$ET0PM = ET0Th * RET0base + (IT2 * \Delta ET0vv)$ , dove:

ET0PM= evapotraspirazione potenziale stimata secondo Penman-Monteith

ET0Th= evapotraspirazione potenziale stimata secondo Thornthwaite

RET0base= rapporto fra ET0PM e ET0Th per le stazioni poco ventose

IT2 = indice topografico a 2 km (Antolini et al., 2004)

$\text{deltaET0}_{\text{vv}} = \text{ET0}_{\text{PM}}/\text{ET0}_{\text{Th}}$  (stazioni molto ventose) -  $\text{ET0}_{\text{PM}}/\text{ET0}_{\text{Th}}$  (stazioni poco ventose)

Mese	ET0 <sub>PM</sub> /ET0 <sub>Th</sub>									
	A Stazioni poco ventose	C Stazioni molto ventose	C - A							
<b>Gen</b>	<b>1,7</b>	<b>2,0</b>	0,3	<b>Gen</b>	Y=	ET0 <sub>Th</sub> *	1,7	+	(IT2*	0,3)
<b>Feb</b>	<b>2,1</b>	<b>2,6</b>	0,4	<b>Feb</b>	Y=	ET0 <sub>Th</sub> *	2,1	+	(IT2*	0,4)
<b>Mar</b>	<b>2,3</b>	<b>2,5</b>	0,2	<b>Mar</b>	Y=	ET0 <sub>Th</sub> *	2,3	+	(IT2*	0,2)
<b>Apr</b>	<b>1,8</b>	<b>2,0</b>	0,2	<b>Apr</b>	Y=	ET0 <sub>Th</sub> *	1,8	+	(IT2*	0,2)
<b>Mag</b>	<b>1,6</b>	<b>1,7</b>	0,1	<b>Mag</b>	Y=	ET0 <sub>Th</sub> *	1,6	+	(IT2*	0,1)
<b>Giu</b>	<b>1,2</b>	<b>1,3</b>	0,1	<b>Giu</b>	Y=	ET0 <sub>Th</sub> *	1,2	+	(IT2*	0,1)
<b>Lug</b>	<b>1,1</b>	<b>1,3</b>	0,2	<b>Lug</b>	Y=	ET0 <sub>Th</sub> *	1,1	+	(IT2*	0,2)
<b>Ago</b>	<b>1,0</b>	<b>1,2</b>	0,2	<b>Ago</b>	Y=	ET0 <sub>Th</sub> *	1,0	+	(IT2*	0,2)
<b>Set</b>	<b>1,0</b>	<b>1,1</b>	0,1	<b>Set</b>	Y=	ET0 <sub>Th</sub> *	1,0	+	(IT2*	0,1)
<b>Ott</b>	<b>1,0</b>	<b>1,1</b>	0,2	<b>Ott</b>	Y=	ET0 <sub>Th</sub> *	1,0	+	(IT2*	0,2)
<b>Nov</b>	<b>1,0</b>	<b>1,3</b>	0,3	<b>Nov</b>	Y=	ET0 <sub>Th</sub> *	1,0	+	(IT2*	0,3)
<b>Dic</b>	<b>1,2</b>	<b>1,6</b>	0,4	<b>Dic</b>	Y=	ET0 <sub>Th</sub> *	1,2	+	(IT2*	0,4)

Tabella 2.3

Sulla base dei risultati del calcolo raster delle due carte, si è definita la carta dell'indice di aridità, che è stata poi riclassificata secondo i seguenti valori:

Classe	Indice di Aridità	Indice
1	0.80 - 0.65	1.0
2	0.65 - 0.50	1.2
4	0.50 - 0.35	1.4
5	0.35 - 0.20	1.6

Tabella 2.4

La cartografia relativa è riportata in Fig. 11

## 2.4 Stagionalità delle precipitazioni

Per la realizzazione di tale carta è stato applicato l'indice "Rainfall Seasonality" proposto nell'ambito della pubblicazione "DIS4ME - Desertification Indicator System for Mediterranean Europe" dell'Università della Basilicata. In particolare, l'elaborazione dell'algoritmo è stata effettuata nell'ambito di ciascun singolo pixel (a partire dalle carte di precipitazioni in formato raster, della seconda edizione dell'Atlante climatologico della Sicilia) e non, come spesso accade, attraverso l'interpolazione spaziale successiva all'elaborazione dell'algoritmo sui punti stazione.

La carta è stata poi riclassificata secondo i seguenti valori ed è riportata in Fig. 12.

Classe	Stagionalità	Indice
1	0.40 – 0.59	1.35
2	0.60 – 0.79	1.55
3	0.80 – 0.99	1.70

Tabella 2.5

## 2.5 Calcolo dell'Indice di Qualità del Clima (CQI)

L'elaborazione dei quattro indicatori descritti ha consentito di ottenere l'Indice di Qualità del Clima attraverso la seguente relazione:

**CQI = (esposizione dei versanti x erosività delle precipitazioni x indice di aridità x stagionalità delle precipitazioni)<sup>1/4</sup>**

Indice di Qualità del Clima	Descrizione	Range
1	Alta qualità	<1.15
2	Moderata qualità	1.15-1.81
3	Bassa qualità	>1.81

Tabella 2.6

## 3 Carta dell'Indice di Qualità della Vegetazione (VQI)

La copertura vegetale svolge un ruolo importante nei processi di desertificazione in quanto è in grado di stabilizzare il suolo, riducendo l'impatto delle precipitazioni ed in certe condizioni controllare l'erosione da ruscellamento superficiale. La sua composizione può essere rapidamente alterata lungo i pendii delle aree collinari mediterranee a seconda delle condizioni climatiche e del periodo dell'anno. Nelle aree caratterizzate da medie annuali di precipitazione inferiori a 300 mm e tassi di evapotraspirazione piuttosto alti, l'acqua del terreno disponibile per le piante è ridotta drasticamente e il suolo rimane relativamente nudo favorendo lo scorrimento dell'acqua superficiale.

La cartografia utilizzata relativa all'uso e alla copertura del suolo con utilizzazione agricola è stata la CORINE Land Cover in scala 1:100.000, aggiornata al 2006. Per le aree a copertura boschiva è stata utilizzata la Carta Forestale della Sicilia (Comando del Corpo Forestale della Regione Sicilia, 2011), redatta su base tipologica in scala 1:10.000 che si basa sulla definizione di bosco della FAO-FRA 2000 (Hofmann A. *et. al.*, 2001; Sistema Informativo Forestale della Regione Siciliana).

Inoltre, per la valutazione dell'indicatore *rischio d'incendio* è stata utilizzata la *Carta del rischio di incendio estivo* redatta dal Comando del Corpo Forestale della Regione Sicilia consultabile nel sito del Sistema Informativo Forestale della Regione e facente parte del redigendo "Piano regionale per la programmazione delle attività di previsione, prevenzione e lotta attiva contro gli incendi boschivi 2009-2013". La scelta è stata dettata da diverse ragioni, tra cui il fatto che le informazioni relative all'uso del suolo della carta CORINE sono facilmente paragonabili a informazioni dello stesso tipo di altre regioni europee, essendo stata realizzata nell'ambito del programma comunitario CORINE (CooRdination de l'Information sur l'Environnement), varato dal Consiglio delle Comunità Europee nel 1985, "con lo scopo primario di verificare dinamicamente lo stato dell'ambiente nell'area comunitaria, al fine di orientare le politiche comuni, controllarne gli effetti, proporre eventuali correttivi".

Gli indicatori di qualità della vegetazione considerati sono stati:

- Rischio d'incendio
- Protezione dall'erosione
- Resistenza alla siccità
- Grado di copertura vegetale

### **3.1 Rischio d'incendio**

In Sicilia, come del resto nell'area del bacino del Mediterraneo, il fuoco rappresenta una delle cause principali di degrado del suolo. La frequenza degli incendi è aumentata drasticamente durante gli ultimi decenni con conseguenze spesso drammatiche per l'erosione dei suoli e la biodiversità.

La valutazione del rischio d'incendio costituisce un presupposto fondamentale per qualsiasi tipo di pianificazione territoriale dove la possibilità che un incendio si sviluppi dipende principalmente da tre gruppi di fattori strutturali:

- ambientali fissi, quali pendenza, esposizione ed illuminazione e variabili, quali temperatura, precipitazioni, umidità relativa, vento ecc.;
- copertura vegetale del suolo con le sue caratteristiche quali densità, umidità, altezza combustibilità;
- attività antropica in tutte le sue forme ed interazioni con l'ambiente.

Per le finalità del presente documento volte alla valutazione del rischio d'incendio, sono stati presi esame soltanto i fattori predisponenti: l'insieme, cioè, delle variabili che con azione combinata consentono il verificarsi delle potenziali condizioni per lo sviluppo del fuoco.

Per impostare l'analisi dei fattori predisponenti il rischio d'incendio e quindi l'analisi del rischio derivato dalle variabili, sono stati presi in esame:

- Viabilità (strade di circolazione principali)
- Modelli di combustibile attribuiti alle varie classi di uso del suolo cartografate (boschi e arbusteti, praterie, pascoli, incolti e frutteti abbandonati, impianti di arboricoltura da legno) Pendenza (derivata dal Modello Digitale del Terreno della Regione Sicilia – DEM)
- Esposizione (derivata dal DEM)
- Bioclima siciliano (fonte “Atlante climatologico della Sicilia, seconda edizione” - Servizio Informativo Agrometeorologico Siciliano- SIAS).

Ad ogni layer corrispondente a ciascun fattore di rischio è stato assegnato un peso  $P_i$  e ad ogni classe di ciascuno di essi, un coefficiente di rischio  $C_f$  che sono riportati nella seguente tabella.

Layer	Rischio	Alto	Medio	Basso	Molto Basso	Assente
	$P_i$ (%)	$90 < C_f < 100$	$70 < C_f < 80$	$50 < C_f < 60$	$0 < C_f < 40$	$C_f = 0$
Viabilità (distanza in m)	15	0-50	50-100	100-200	200-300	>300
Pendenze (%)	15	>50%	-	30-50%	0-30%	
Esposizione (°)	10	136-225	-	46-135	0-45	-
				226-315	316-360	
Bioclima	25	Termomed.	Mesomed. secco - subumido	Mesomed. umido	Supramed, Oromed. e Crioromed.	-
Modelli di combustibile	35	4	3	2, 5, 6 e 7	1, 8 e 9	-

Tabella 3.1

L'utilizzo della viabilità trova giustificazione nel fatto che oltre il 90% degli incendi ha origine in prossimità di una strada. Nel caso del piano della viabilità si sono considerate delle fasce progressive di rischio di 50-100 m di ampiezza, con rischio d'incendio (RI) che diminuisce allontanandosi dalla strada, fino ad essere nullo oltre i 300 m.

La topografia ha una grande influenza sul comportamento del fuoco. A causa della morfologia del terreno si determinano, nell'ambito di uno stesso comprensorio, differenze microclimatiche considerevoli che spesso causano modifiche sulle caratteristiche del combustibile. Dei tre fattori che agiscono sul comportamento del fuoco la topografia è l'unica costante e di conseguenza è più facile prevedere l'influenza che avrà rispetto a quelle dovute ai combustibili.

La pendenza è un fattore che influenza la velocità di propagazione del fuoco, soprattutto nelle fasi iniziali. In una pendice che presenta un'inclinazione compresa tra i 10° ed i 15° la

velocità di propagazione è doppia rispetto ad una superficie piana, ed è quadrupla se l'inclinazione è di 25°. Per il piano delle pendenze l'assegnazione dei punteggi è stata eseguita calcolando la pendenza media delle superfici interessate da ciascun modello di combustibile utilizzando il DEM; all'aumentare della variabile aumenta anche il rischio d'incendio, in particolare essa ha una notevole influenza sull'intensità lineare di fiamma (quest'ultima aumenta significativamente solo dal 30% in su e al 100% raddoppia).

L'esposizione è un fattore considerato accelerante l'innescò, in quanto le aree esposte a Sud rispetto a quelle a Nord in funzione della quantità di radiazione solare che viene recepita, hanno minor tenore di umidità relativa dei materiali combustibili e gli stessi raggiungono maggiori temperature a causa dell'irraggiamento prolungato durante le ore diurne, sono perciò più facilmente incendiabili; per valutare il fattore esposizione si è dato un valore di rischio a seconda delle esposizioni.

Per quanto riguarda il fattore climatico si è fatto riferimento allo strato informativo del bioclima siciliano (*op.c.*) e agli archivi informatici delle superfici percorse dal fuoco del Comando del Corpo Forestale della Regione Siciliana. Nell'anno 2007 sono stati individuati gli incendi di maggiore estensione estivi, sono stati presi i dati meteorologici della stazione più vicina e utilizzati i parametri climatici (umidità, velocità del vento e temperature) nel programma Behave Plus 5.0. Si sono quindi ricavati i valori di intensità lineare utilizzando i dati meteorologici prima citati per ogni modello di combustibile e sulla base dei risultati si è attribuito un peso ad ognuno di essi, per poi riclassificare la carta dei modelli.

I modelli di combustibile sono stati riclassificati sulla base di caratteristiche omogenee nei confronti del fuoco. Tali caratteristiche riguardano sia la quantità che le dimensioni del combustibile vegetale, sia vivo che morto, determinando un diverso comportamento del fuoco. La vegetazione deve essere esaminata soprattutto sulla base della distribuzione del materiale fine e della parte secca alla periferia delle chiome e del fusto; infatti il fronte del fuoco si sviluppa in una ristretta fascia di qualche metro di ampiezza ed il fusto ed i rami di una certa dimensione (di solito superiore agli 8 cm di diametro) bruciano soltanto in minima parte. Sono quindi la struttura, la disposizione, il grado di compattazione e la continuità verticale dei materiali fini, le principali caratteristiche che influiscono sulla minore o maggiore difficoltà di trasmissione del fuoco.

In particolare le principali caratteristiche della vegetazione-combustibile sono:

- quantità di combustibile;
- grandezza e forma;
- compattazione;
- continuità orizzontale;
- continuità verticale;
- densità del materiale legnoso;
- contenuto di sostanze chimiche;
- umidità.

Per redigere i modelli di combustibile sono state prese in considerazione queste caratteristiche dei materiali vegetali. La valutazione del grado di combustibilità della vegetazione utilizzato è riferito al periodo estivo (per la Sicilia si è ritenuto opportuno considerare estivo il periodo maggio-settembre compresi) in cui il rischio è il più alto.

L'operazione di sovrapposizione dei piani finali tramite grid (elaborazione per pixel) è stata eseguita applicando la seguente formula:

$$RI = P_v \cdot C_v + P_p \cdot C_p + P_e \cdot C_e + P_b \cdot C_b + P_c \cdot C_c$$

$P_v$  = peso del layer viabilità

$P_p$  = peso del layer delle pendenze

$P_e$  = peso del layer esposizione

$P_b$  = peso del layer bioclima

$P_c$  = peso del layer modelli di combustibile

$C_v$  = coefficienti di rischio del layer viabilità

$C_p$  = coefficienti di rischio del layer pendenze

$C_e$  = coefficienti di rischio del layer esposizione

$C_b$  = coefficienti di rischio del layer bioclima

$C_c$  = coefficienti di rischio del layer modelli di combustibile

La mappa di rischio è stata definita da quattro classi:

- rischio basso;
- rischio medio;
- rischio alto.

- Rischio molto alto

Le soglie delle quattro classi di rischio isodimensionali sono state stabilite coerentemente con le norme previste dal sopra citato Piano anti-incendio boschivo.

Il rischio di incendio e l'indice corrispondente possono essere così riassunti:

<b>Classe</b>	<b>Rischio d'incendio</b>	<b>Indice</b>
1	Basso	1.0
2	Medio	1.3
3	Alto	1.6
4	Molto alto	2.0

Tabella 3.2 Attribuzioni di merito effettuate - per le aree non agricole - in base alla "Carta operativa delle aree a Rischio incendi" a cura del Corpo Forestale della Regione Siciliana. Per le aree agricole, invece, si sono utilizzate le classi della CORINE Land Cover 2006.

La cartografia relativa è riportata nella Fig. 13.

### **3.2 Protezione dall'erosione**

La vegetazione e l'uso del suolo, insieme alle precipitazioni, sono i fattori che regolano l'intensità del ruscellamento superficiale e dell'erosione.

Vaste aree in cui dominano colture in asciutto, come i cereali, la vite, il mandorlo e l'olivo sono localizzate in aree collinari con suoli poco profondi molto sensibili all'erosione. Il rischio di erosione e di desertificazione per tali aree tende ad aumentare a causa della ridotta protezione da parte della copertura vegetale nei confronti dell'effetto battente della pioggia sul terreno, e per il ruscellamento superficiale. Le tecniche colturali adottate per molte colture agrarie, come ad esempio i vigneti, i frutteti e gli oliveti prevedono lavorazioni frequenti nell'interfila: il suolo rimane pertanto nudo per buona parte dell'anno, creando le condizioni favorevoli per il ruscellamento e all'erosione.

Prove sperimentali condotte in diverse aree del bacino del Mediterraneo caratterizzate da differenti tipi di utilizzo del suolo e di vegetazione naturale hanno mostrato come le perdite di suolo maggiori si verificano nelle aree collinari in cui domina la viticoltura. Inoltre, le aree coltivate con colture annuali come i cereali autunno-vernini (frumento, orzo, ecc.) lasciano il suolo nudo durante la stagione più piovosa (autunno) favorendo i fenomeni relativi alla perdita

dei sedimenti e al degrado del suolo, specialmente con valori di precipitazione annua superiori a 380 mm (Kosmas et al., 1999). Per quanto riguarda le colture perenni come l'olivo, i fenomeni di erosione dipendono dall'acclività del terreno e, in particolare, dalla presenza o meno di inerbimento sottochioma.

Nelle aree in cui è presente la vegetazione naturale a macchia, tipica degli ecosistemi mediterranei, si è notata (Kosmas et al., 1999) una protezione medio-alta dall'erosione che dipende dall'entità del cumulo annuale di precipitazione: partendo da valori elevati di precipitazione, fino a valori di 280-300 mm, l'erosione aumenta, mentre a valori inferiori si ha una riduzione progressiva del fenomeno.

In conclusione, la migliore protezione dall'erosione è favorita in aree in cui dominano querce, olivi e conifere con sottobosco ben sviluppato, come mostrato nella seguente tabella 3.3; La cartografia relativa è riportata nella Fig. 14.

<b>Classe</b>	<b>Classi Corine</b>	<b>Indice</b>
1	Boschi di Latifoglie sempreverdi, boschi misti, macchia mediterranea – sempreverdi, roccia	1.0
2	Macchia mediterranea, conifere, prati perenni, oliveti, cespuglietti, boschi di latifoglie decidue	1.3
3	Pascoli	1.6
4	Mandorleti, frutteti	1.8
5	Vigneti, orticole, colture annuali scarsamente vegetati, suoli nudi	2.0

Tabella 3.3

### 3.3 Resistenza alla siccità

Gli ecosistemi mediterranei hanno sviluppato nel corso del tempo un'elevata resistenza alla siccità grazie a numerosi adattamenti di natura anatomica ed ecofisiologica delle specie. Molte di esse sono in grado di resistere a condizioni di deficit idrico severe e prolungate nel tempo, per cui le risposte fisiologiche della vegetazione a una graduale riduzione delle precipitazioni possono essere messe in evidenza solo dopo un numero critico di anni siccitosi.

Tra le specie agrarie prevalenti in ambiente mediterraneo, l'olivo presenta una spiccata adattabilità e resistenza a periodi siccitosi anche piuttosto lunghi, mentre le specie decidue e le colture agricole annuali sono meno adatte, secondo la scala di valori esemplificata nella tabella 3.4.

La principale risposta da parte della pianta alla ridotta disponibilità idrica è data dalla riduzione dell'Indice di Area Fogliare (Leaf Area Index, LAI), con la conseguente riduzione dell'attività respiratoria; dal punto di vista del rischio di desertificazione, si riduce in questo modo l'azione protettiva della copertura vegetale e si intensificano i processi di erosione.

<b>Classe</b>	<b>Classi Corine</b>	<b>Indice</b>
1	Boschi di Latifoglie sempreverdi, boschi misti, macchia mediterranea – sempreverdi, roccia e suoli nudi	1.0
2	Macchia mediterranea, conifere, oliveti, boschi di latifoglie	1.2
3	Mandorleti, vigneti	1.4
4	Prati perenni, frutteti, pascoli e cespuglieti	1.7
5	Orticolture, colture annuali scarsamente vegetati	2.0

Tabella 3.4

La cartografia relativa è riportata nella Fig. 15

### 3.4 Grado di copertura vegetale

Molti studi (Francis e Thornes, 1990) hanno dimostrato come il ruscellamento e la perdita di suolo diminuiscono notevolmente all'aumentare della percentuale di copertura del suolo da parte della vegetazione. Una porzione di territorio è considerata desertificata quando la produzione di biomassa per unità di superficie si trova al di sotto di una determinata soglia. In termini di percentuale di copertura vegetale, tale soglia è stata individuata nel 40% di copertura; oltre questo valore di riferimento, in zone acclivi, si verificano condizioni di accelerata erosione. Il valore di tale soglia può cambiare in funzione del tipo di vegetazione, dell'intensità della pioggia e delle caratteristiche del territorio, ma il degrado del terreno inizia solo quando una porzione sostanziale (circa il 40%, appunto) del terreno è spoglia. Nella tabella seguente sono presentati i valori della copertura del terreno, espressa in percentuale, e l'indice associato. La cartografia relativa è riportata nella Fig. 16

<b>Classe</b>	<b>Copertura vegetale</b>	<b>Indice</b>
1	> 40%	1.0
2	Tra 40 e 10%	1.8

3	< 10%	2.0
---	-------	-----

Tabella 3.5

### 3.5 Calcolo dell'Indice di Qualità della Vegetazione (VQI)

L'Indice di Qualità della Vegetazione è stato ottenuto dalla media geometrica dei diversi indicatori che contribuiscono a definire le caratteristiche della vegetazione, attraverso la seguente relazione:

$$\text{VQI} = (\text{rischio d'incendio} \times \text{protezione dall'erosione} \times \text{resistenza all' aridità} \times \text{grado di copertura vegetale})^{1/4}$$

Indice di Qualità della Vegetazione	Descrizione	Range
1	Qualità Alta	<1.13
2	Qualità Media	1.13-1.38
3	Qualità Bassa	>1.38

Tabella 3.6

La cartografia relativa all'Indice di Qualità della Vegetazione prodotta dalla sovrapposizione delle Cartografie ancillari è riportata in Fig. 17.

## 4 Carta dell'Indice di Qualità della Gestione del Territorio (MQI)

L'individuazione delle aree sensibili alla desertificazione secondo la metodologia ESAs prevede anche lo studio delle pressioni di origine antropica esercitate sull'ambiente. L'utilizzo del territorio da parte dell'uomo è un aspetto fondamentale nel determinare i processi che possono portare al degrado del suolo e alla desertificazione. Il tipo di gestione dipende da un insieme di fattori di diversa natura: fattori ambientali, pedologici, climatici, ma anche sociali, economici, politici e tecnologici. Un altro aspetto particolare è il progressivo abbandono delle terre, dovuto a ragioni economiche e sociali, nonché alla maggiore produttività dell'agricoltura e al conseguente passaggio da agricoltura estensiva ad intensiva. I territori agricoli abbandonati possono essere interessati da fenomeni di deterioramento o di miglioramento delle caratteristiche del suolo a seconda del tipo particolare di suolo e delle condizioni climatiche dell'area. Le caratteristiche pedologiche delle aree collinari che possono sostenere una copertura vegetale sufficiente possono migliorare nel tempo attraverso l'accumulo di sostanza organica, l'aumento dell'attività biologica delle componenti biotiche sia animali che vegetali, il miglioramento della struttura e della permeabilità del suolo, con la conseguente riduzione del rischio di erosione (Kosmas et al., 1995). Nel caso invece di aree caratterizzate da vegetazione scarsa, i processi erosivi possono essere molto attivi e la perdita di suolo irreversibile.

Il modello considera l'intensità di uso del territorio, le politiche di tutela e l'indice di pressione antropica (HPI). Per il calcolo dell'Indice di Qualità della Gestione del Territorio sono state utilizzate:

- Le informazioni provenienti dalla mappa d'uso del suolo Corine Land Cover 2006 della Sicilia (1:100.000)
- La delimitazione ufficiale delle aree protette (*parchi e riserve*) e dei siti di interesse comunitario (*SIC-ZPS*):
- I territori comunali della Sicilia
- Dati ISTAT (variazione della popolazione anni 1985 - 2008)

## 4.1 Intensità d'uso del suolo

Per quanto riguarda questo parametro si è fatto riferimento alle diverse classi di uso del suolo Corine 2006 e sono stati attribuiti i diversi valori di intensità di uso del suolo, come da seguente tabella:

Nome dell'indicatore	Classi Corine		Indice
Intensità d'uso del suolo	Bassa	Prati stabili, colture annuali, boschi di latifogli e conifere, boschi misti, macchia mediterranea, aree naturali scarsamente vegetate	1.0
	Media	Area a vegetazione boschiva ed arbustiva in evoluzione	1.2
	Alta	Colture annuali, pascoli, cespuglieti	1.5
	Elevata	Vigneti, frutteti, orticolture	2.0

Tabella 4.1

La Cartografia relativa è riportata in Fig. 18.

## 4.2 Politiche di protezione

L'indicatore relativo alle politiche di protezione dell'ambiente classifica le aree in base al grado con cui tali politiche vengono applicate in ciascuna delle aree oggetto di studio. A tale scopo, sono stati raccolti i dati cartografici relativi alle aree del territorio regionale sottoposte a varie forme di protezione, e in particolare:

- Parchi e Riserve regionali (L.R. N.14 del 1988)
- Siti SIC e ZPS (Rete Natura 2000)
- Vincolo Idrogeologico ex R.D. 3267/23

Classe	Tipo di vincolo	Indice
1	Parchi e riserve regionali e Rete Natura 2000	1.0
2	Aree sottoposte a vincolo idrogeologico	1.5
3	Senza vincoli	2.0

Tabella 4.2

La Cartografia relativa è riportata in Fig. 19.

### 4.3 Indice di pressione Antropica (HPI)

La presenza dell'uomo in una determinata zona determina un fattore di pressione. Infatti, l'elevata urbanizzazione comporta cementificazione e impermeabilizzazione del suolo, nonché uno sfruttamento puntuale delle risorse idriche, sottrazione di terreno agricolo, abbandono delle campagne, etc., .

Una maggiore antropizzazione di un territorio va tenuta, pertanto, nella dovuta considerazione nello studio del fenomeno della desertificazione attraverso un'attenta analisi di quelle che sono le complesse dinamiche sia strutturali che spazio-temporali della popolazione.

La relazione finale della Regione Toscana (2004) del "Programma Interregg IIIB Medocc Azione pilota in Toscana" denominata "Integrazione dei dati climatici, telerilevati e socio-economici per la definizione di indicatori di vulnerabilità alla desertificazione" mette a punto un'apposita metodologia che di seguito si descrive e che è stata utilizzata per la valutazione della pressione antropica all'interno della problematica delle aree sensibili alla desertificazione.

La densità di popolazione, ossia il numero di abitanti/Km<sup>2</sup> rappresenta una valida indicazione dei possibili squilibri causati da un'elevata concentrazione della popolazione residente relativamente allo sfruttamento delle risorse naturali.

In funzione dei dati ISTAT della popolazione residente su base comunale per l'anno 2008, ARPA Sicilia ha proceduto a calcolare la seguente formula:

$$\text{Densità di popolazione} = \frac{\text{Numero abitanti}}{\text{Km}^2}$$

I valori di densità ricavati sono stati aggregati in classi alle quali è stato attribuito un punteggio come da tabella seguente:

**Densità di popolazione (abitanti/kmq) nell'anno 2008**

<b>Classe</b>	<b>Indice</b>
0 - 10 ab./kmq	1,00
10 - 25 ab./kmq	1,30
25 - 50 ab./kmq	1,40
50 - 100 ab./kmq	1,50
100 - 200 ab./kmq	1,70
200 - 400 ab./kmq	1,80
400 - 800 ab./kmq	1,95
> 800 ab./kmq	2,00

Tabella 4.3

La Cartografia relativa è riportata in Fig. 20

Si è, poi, proceduto alla creazione di un elaborato cartografico in ambiente “ArcGis” sulla base della densità di popolazione riclassificata come da tabella precedente. Alle varie classi si sono attribuiti dei determinati valori di punteggio di sensibilità al fenomeno della desertificazione sulla base del metodo MEDALUS: maggiore è il punteggio maggiore è la sensibilità al fenomeno.

Per quanto riguarda la variazione percentuale della densità di popolazione, essa attiene a quelle che sono le dinamiche spazio-temporali del fenomeno demografico. Infatti l’abbandono da un lato e l’antropizzazione dall’altro possono avvenire in un arco di tempo ristretto e possono avere una tale portata da non consentire all’ambiente di potere ritrovare una nuova condizione di equilibrio o da non permettere alla popolazione medesima il soddisfacimento dei propri bisogni in modo sostenibile. L’indicatore che misura la variazione percentuale della densità di popolazione si calcola in funzione dei valori demografici confrontando gli anni 1985 – 2008 da fonte ISTAT. La formula utilizzata è stata la seguente:

$$\text{Variazione \% dens. popol.} = \frac{\text{dens.}_{2008} - \text{dens.}_{1985}}{\text{dens.}_{1985}} * 100$$

Eventuali valori negativi identificano una diminuzione della densità di popolazione nel periodo preso in considerazione, mentre valori positivi mostrano un aumento. Il raddoppio della popolazione residente si ha con valori di variazioni del 100%.

***Variazione % della densità di popolazione***

<b>Classe</b>	<b>Indice</b>
-100 - 0 %	1,00
0 - 20 %	1,20
20 - 50 %	1,40
50 - 100 %	1,60
100 - 200 %	1,80
> 200 %	2

Tabella 4.4

Si è, poi, proceduto alla creazione di un elaborato cartografico in ambiente “ArcGis” sulla base della densità di popolazione riclassificata come da tabella precedente. Alle varie classi si sono attribuiti dei determinati valori di punteggio di sensibilità al fenomeno della desertificazione sulla base del metodo MEDALUS: maggiore è il punteggio maggiore è la sensibilità al fenomeno.

La Cartografia relativa è riportata in Fig. 21.

Infine incrociando le mappe relative alla densità ed alla variazione di densità si ricava un’elaborazione cartografica relativa al complessivo indice di pressione antropica. Quest’ultimo risulterà determinato dalla media geometrica tra la densità comunale di popolazione per i comuni siciliani (dato ISTAT 2008) e la variazione di densità per gli anni 1985-2008, come da formula seguente:

$$HPI = (Dens. popol.2008 * Var. \% dens. popol.1985-2008)^{1/2}$$

Il valore ricavato farà parte della media geometrica relativa al calcolo dell’indice di qualità della gestione (MQI), precedentemente descritto.

#### 4.4 Calcolo dell'Indice di Qualità della Gestione (MQI)

L'Indice di Qualità della Gestione è stato ottenuto dalla media geometrica dei tre indicatori che contribuiscono a definire le caratteristiche della gestione, attraverso la seguente relazione:

$$\text{MQI} = (\text{intensità d'uso} \times \text{politiche di protezione} \times \text{l'indice di pressione antropica})^{1/3}$$

Indice di Qualità della Gestione	Descrizione	Range
1	Qualità alta	<1.25
2	Qualità media	1.25-1.50
3	Qualità bassa	>1.50

Tabella 4.5

La Cartografia relativa all'Indicatore dell'Indice di Qualità della Gestione, prodotta dalla sovrapposizione delle carte ancillari pertinenti è riportata in Fig. 22

## 5 Calcolo dell'Indice delle Aree Sensibili alla desertificazione (Esai)

Il risultato finale dell'applicazione della metodologia è l'ottenimento di un indice riassuntivo, dato dalla combinazione degli indici di qualità ambientale (suolo, clima, vegetazione) e dell'indice di qualità della gestione, di sensibilità delle aree ESAs alla desertificazione. La tecnologia GIS ha consentito di calcolare, sotto forma di carta tematica, la media geometrica dei quattro indicatori, intesi come strati informativi:

$$ESAI = (SQI * CQI * VQI * MQI)^{1/4}$$

L'indice finale ESAI individua le aree con crescente sensibilità alla desertificazione secondo il seguente schema, in cui sono riportati i differenti valori che tale indice può assumere:

VALORE ESAI	CLASSE	CARATTERISTICHE
ESAI < 1.17	Non affetto	Aree non soggette e non sensibili
1.17 < ESAI < 1.225	Potenziale	Aree a rischio di desertificazione qualora si verificassero condizioni climatiche estreme o drastici cambiamenti nell'uso del suolo.
1.225 < ESAI < 1.265	Fragile 1	Aree limite, in cui qualsiasi alterazione degli equilibri tra risorse ambientali e attività umane può portare alla progressiva desertificazione del territorio.
1.265 < ESAI < 1.325	Fragile 2	
1.325 < ESAI < 1.375	Fragile 3	
1.375 < ESAI < 1.415	Critico 1	Aree altamente degradate
1.415 < ESAI < 1.530	Critico 2	
ESAI < 1.530	Critico 3	

Tabella 5.1

Kosmas et al., (1999) definiscono come:

- **Aree (ESAs) potenziali:** aree minacciate dalla desertificazione. Sono quelle aree soggette ad un significativo cambiamento climatico; se una particolare utilizzazione del suolo è praticata con criteri gestionali non corretti si potranno creare seri problemi, per esempio lo scorrimento dei pesticidi lungo le pendici e deposito a valle dei principi attivi nocivi alla vegetazione. Si tratta per lo più di aree marginali abbandonate non gestite in modo appropriato. Questo tipo è meno severo del successivo, ma ciò nonostante è necessario attuare una pianificazione territoriale corretta.

- **Aree (ESAs) fragili:** aree dove qualsiasi cambiamento del delicato equilibrio dei fattori naturali o delle attività umane molto probabilmente porterà alla desertificazione. Per esempio, l'impatto del previsto cambiamento climatico causato dall'effetto serra probabilmente determinerà una riduzione del potenziale biologico causata dalla siccità, provocando la perdita della copertura vegetale in molte aree, che saranno soggette ad una maggiore erosione, e diventeranno aree critiche.
- **Aree (ESAs) critiche:** aree già altamente degradate a causa del cattivo uso del terreno, che presenta una minaccia all'ambiente delle aree circostanti. Per esempio, aree molto erose soggette ad un alto deflusso e perdita di sedimenti.

La cartografia relativa all'Indice delle Aree Sensibili alla Desertificazione è riportata in Fig.23.

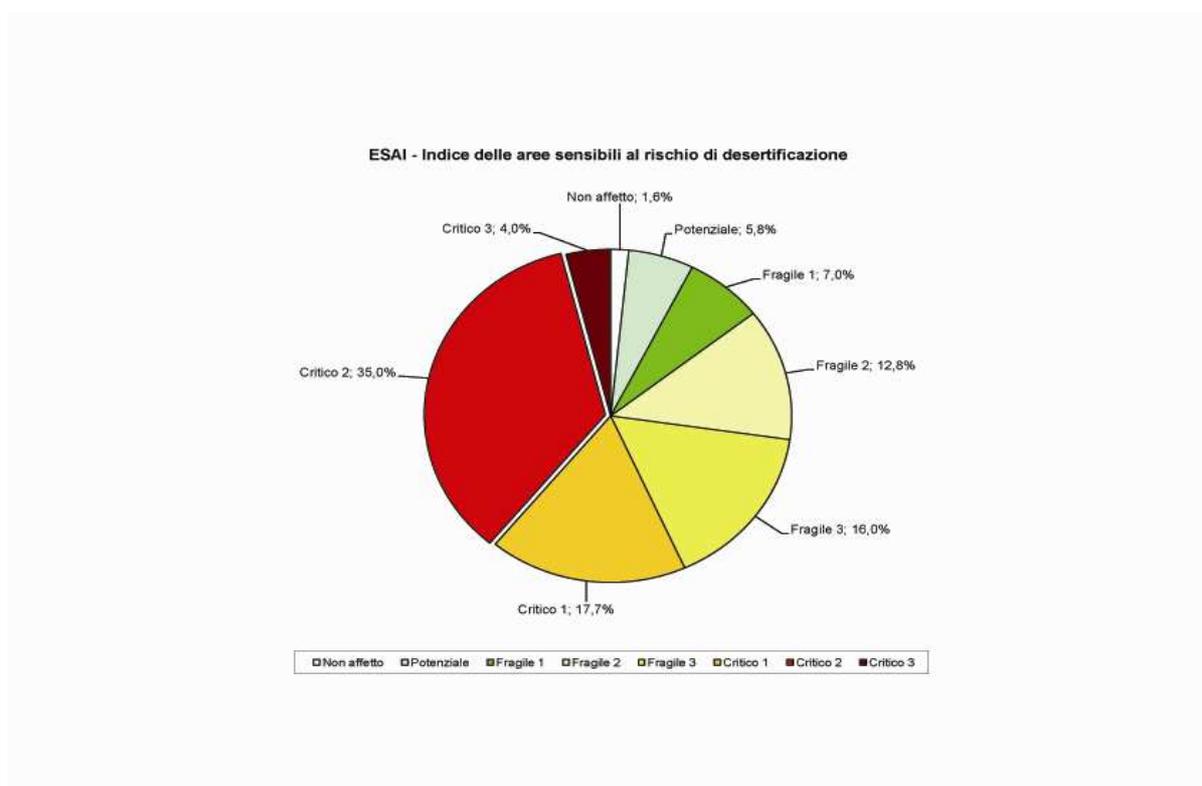
## 6 Risultati e conclusioni

La rappresentazione cartografica dell'applicazione della metodologia Medalus al territorio siciliano ha evidenziato una diffusa sensibilità al degrado del territorio come specificatamente qui di seguito riportato:

Le aree critiche rappresentano il 56,7% dell'intero territorio, che si possono suddividere tra le aree meno critiche, *aree C1*, 17,7 %, e quelle a maggiore criticità, *aree critiche C2*, 35,0 %. Le aree a criticità *C3*, le più critiche, ammontano al 4,0 % dell'intera superficie dell'Isola.

Le aree fragili, quelle in cui qualsiasi alterazione del delicato equilibrio tra fattori naturali e le attività umane può portare alla desertificazione, rappresentano una quota pari al 35,8 % del totale, che si può anche distinguere tra le aree meno fragili *F1*, 7,0 %, e quelle a maggiore fragilità, *aree fragili F2*, 12,8%. Le aree a fragilità *F3*, quelle prossime alla classe *C3* raggiungono il 16,0 % dell'intera superficie.

Solo il 5,8% e l'1,8 % delle aree della Sicilia presenta una sensibilità potenziale o nulla alla desertificazione.



A differenza delle precedenti cartografie realizzate, quest'ultima utilizza un numero maggiore di indicatori tra i quali alcuni sono considerati per la prima volta, altri risultano sostituiti (es. piovosità con la stagionalità delle precipitazioni, ecc.).

Il Data Base a supporto dell'analisi cartografica è stato integrato da numerosi e dettagliati dati aggiornati, soprattutto per la componente suolo e vegetazione.

La Carta è stata realizzata con la partecipazione di più unità operative dell'Amministrazione Regionale, risultando quindi, un primo momento di confronto multidisciplinare nell'ambito dei Dipartimenti Regionali competenti per i differenti settori maggiormente coinvolti nel fenomeno della desertificazione.

Per la tipologia dei dati utilizzati, per la scala di elaborazione e per il tipo d'informazione che fornisce, la carta possiede le caratteristiche per essere utilizzata soprattutto ai fini della definizione delle politiche d'indirizzo nella pianificazione regionale di uso del territorio.

Allo stato attuale delle conoscenze, in relazione alla metodologia utilizzata e alla tipologia dei dati (relativi soprattutto ad aspetti qualitativi del territorio), la carta non identifica necessariamente fenomeni di degrado in atto per le aree classificate critiche. Pertanto, nelle fasi di approfondimento, sarà necessario passare da una rappresentazione "potenziale" dei processi di degrado ad una nella quale questi vengono individuati, classificati e presi in considerazione al fine di calibrare correttamente i parametri utilizzati.

## Bibliografia

ARISCO G., ARNONE G., FAVARA R., GRECO D., NIGRO F., PERRICONE M., RENDA P. (2008) – *Carta della vulnerabilità alla desertificazione della Regione Sicilia*

ALLEN R. G., PEREIRA L. S., RAES D., SMITH M., 1998. Crop evapotranspiration. *Guidelines for computing crop water requirements*. FAO Irrigation and Drainage Paper 56, Roma.

ANPA(2001) *Atlante degli indicatori del suolo*. RTI CTN\_SSC 3.

ANTOLINI G., ZINONI F., SELVINI A., 2004. *Specializzazione delle previsioni meteorologiche per la stima delle gelate*. In: CRPV, Centro Ricerche Produzioni Vegetali. “Previsione e difesa dalle gelate tardive - Risultati del progetto DIsgELO”, Notiziario Tecnico CRPV n. 70, pp. 49-63, Cesena.

BRANDT J., GEESON N. & IMESON A. (2003). *A desertification indicator system for Mediterranean Europe*. DESERTLINKS Project ([www.kcl.ac.uk/desertlinks](http://www.kcl.ac.uk/desertlinks))

S. CARNEMOLLA, A. DRAGO, M. PERCIABOSCO, F. SPINNATO (2002) *Metodologia per la redazione di una carta in scala 1:250.000 sulle aree vulnerabili al rischio di desertificazione in Sicilia*.

CHIARANTINI L., (1996), *Abruzzo Region: Soils*, in Final Report Covering the Period 1 January 1991 to 30 September 1995, (MEDALUS II Project 4) “MEDALUS: Mediterranean Desertification and Land Use - Managing Desertification”.

COMITATO NAZIONALE PER LA LOTTA ALLA DESERTIFICAZIONE (1998). *Comunicazione nazionale alla Convenzione delle Nazioni Unite per la lotta contro la desertificazione nei paesi gravemente colpiti dalla siccità e/o desertificazione, con particolare urgenza in Africa (UNCCD)*. [www.desertification.it](http://www.desertification.it)

COMITATO NAZIONALE PER LA LOTTA ALLA DESERTIFICAZIONE (1999). *Carta delle Aree Vulnerabili al Degrado del Territorio e Sensibili al Fenomeno della Desertificazione*. Redazione a cura del Servizio Idrografico e Maregrafico Nazionale - Dip. Servizi Tecnici Nazionali - Ministero dell’Ambiente.

CONESE C., (1996), *Abruzzo Region: GIS*, in Final Report Covering the Period 1 January 1991 to 30 September 1995, (MEDALUS II Project 4) “MEDALUS: Mediterranean Desertification and Land Use - Managing Desertification”.

COSTANTINI E.A.C. (coordinatore) (2006). *Metodi di valutazione dei suoli e delle terre*. Edizioni Cantagalli, Siena

COSTANTINI E.A.C. (a cura di) (2007). *Linee guida dei metodi di rilevamento e informatizzazione dei dati pedologici*. CRA – ABP, Firenze.

DISforME Project - Sito web: <http://www.kcl.ac.uk/projects/desertlinks/>

DISMED (2003). *Map of Sensitivity to Desertification and Drought in the Mediterranean Basin - Italy* ([http://dismed.eionet.eu.int/Facilities/dismed\\_products](http://dismed.eionet.eu.int/Facilities/dismed_products))

A. D'OTTAVIO, P. BAFFARI, V. TRIVIGNO (2004). *Carta delle aree sensibili alla desertificazione in Basilicata* (Progetto DesertNet).

DRAGO A., 2002. *Atlante climatologico della Sicilia, seconda edizione*. Regione Siciliana, Assessorato Agricoltura e Foreste, Servizio Informativo Agrometeorologico Siciliano, Palermo.

ENNE G., ZUCCA C. (2000) *Indicatori di desertificazione per il Mediterraneo europeo: stato dell'arte e proposte di metodo*, ANPA. Rome ISBN – 88-448-0272-4.

FAO/UNEP, (1984), *Provisional Methodology for assessment and mapping of desertification*. Published by FAO in 1984. ISBN 92-5-101442-6.

A. FERRARA, A. BELLOTTI, S. FARETTA, G. MANCINO, P. BAFFARI, A. D'OTTAVIO, V. TRIVIGNO (1999). *Map of environmental sensitivity areas to desertification for the Basilicata region, Italy*.

FERRARA A., A. BELLOTTI, S. FARETTA, G. MANCINO, M. TABERNER (1999). *Identification and assessment of Environmentally Sensitive Areas by Remote Sensing*. MEDALUS III 2.6.2. OU Final Report.

FERRO V., (2008). *Linee guida per l'applicazione della Universal Soil Loss Equation (USLE) in ambiente mediterraneo*. Quaderni di Idronomia Montana 28/1.

FERRO V., (2008). *Atlante della qualità dei suoli del bacino del fiume Imera Meridionale*.

L. GENESIO, R. MAGNO, V. CAPECCHI, A. CRISCI, L. BOTTAI, R. FERRARI, L. ANGELI, L. GARDIN (2004). *Integrazione dei dati climatici, telerilevati e socio-economici per la definizione di indicatori di vulnerabilità alla desertificazione* (Progetto DesertNet).

L. GIORDANO, F. GIORDANO, S. GRAUSO, M. IANNETTA, L. ROSSI, M. SCIORTINO, G. BONATI (2002). *Individuazione delle zone sensibili alla desertificazione nella regione Siciliana*. In: "Valutazione e mitigazione della desertificazione nella Regione Sicilia: un caso studio, pp. 27-47. A cura del Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio". ENEA, Roma.

HOFMANN A., CIBELLA R., BERTANI R., MIOZZO M., FANTONI I., LUPPI S. (a cura di) 2011 – *Strumenti conoscitivi per la gestione delle risorse forestali della Sicilia*. Sistema Informativo Forestale. Assessorato Territorio ed Ambiente. Regione Siciliana 208 pp.

ISSDS, INEA, Regione Sardegna, Regione Sicilia, Regione Calabria, Regione Puglia (2005). *Atlante Nazionale delle aree a rischio di desertificazione*.

ISTAT - *Atlante Statistico dei Comuni*, ed 2005 e 2008

ISTAT 2001. *V Censimento Nazionale dell'Agricoltura. Database on line: sezione 5-Consistenza degli allevamenti.*

JRC – INEA (2003). *Identification of Environmentally Sensitive Areas (ESAs) in the country of the Annex IV (Portugal, Spain, Italy, Greece, Turkey)* UNCCD convention – brief methodological note.

KOSMAS C., MOUSTAKAS N., DANALATOS N.G., AND YASSOGLOU N. 1995. *The effect of land use change on soil properties and erosion along a catena.* In: J. Brandt and J. Thornes (eds), *Mediterranean desertification and land use*, John Wiley & Sons, 271-299 pp.

KOSMAS C., FERRARA A., BRIASOULI H., IMESON A., (1999). *Methodology for mapping Environmentally Sensitive Areas (ESAs) to Desertification.* In *'The Medalus project Mediterranean desertification and land use. Manual on key indicators of desertification and mapping environmentally sensitive areas to desertification.* Edited by: C. Kosmas, M.Kirkby, N.Geeson. European Union 18882. pp: 31-47 ISBN 92-828-6349-2.

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.

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.

KOSMAS C., POESEN J., BRIASSOULI H. 1999. *Key indicators of desertification at the ESA scale.* In: the MEDALUS project – Mediterranean desertification and land use. European Commission, Brussels.

LUISE A., VITI S., GIORDANO F., MARRA CAMPANALE R. (2004) “Le azioni pilota: linee guida per la loro definizione e prime osservazioni sulle attività operative dei Partner”. Rapporto tecnico realizzato nell’ambito del Progetto DesertNet (Interreg IIIB)

LUISE A., VITI S., GIORDANO F., MARRACAMPANALE R. (2004) “Indicatori di desertificazione: aspetti generali, metodologie di mappatura delle aree sensibili, indici di aridità e di siccità, caratteristiche socio-economiche”. Rapporto tecnico realizzato nell’ambito del Progetto DesertNet (Interreg IIIB).

MARIANI L., (1996), *Abruzzo Region: Metereology*, in Final Report Covering the Period 1 January 1991 to 30 September 1995, (MEDALUS II Project 4) “MEDALUS: Mediterranean Desertification and Land Use - Managing Desertification”.

A. MARINI, L. NAITZA, D. MACCIOTTA, S. ORRÙ (2004). *La cartografia delle aree a rischio desertificazione* (Progetto DesertNet)

A. MOTRONI, S. CANU, G. BIANCO, G. LOJ (2004). *Carta delle aree sensibili alla desertificazione – ESAs* (Progetto DesertNet).

NICCOLAI M., (1996), *Abruzzo Region: Climatology, Remote Sensing and Socio-economics*, in Final Report Covering the Period 1 January 1991 to 30 September 1995, (MEDALUS II Project 4) “MEDALUS: Mediterranean Desertification and Land Use - Managing Desertification”.

*OECD core set of indicators for environmental performance reviews*

POSTIGLIONE L., (1996), *Agri Basin: Vegetation Survey*, in Final Report Covering the Period 1 January 1991 to 30 September 1995, (MEDALUS II Project 4) “MEDALUS: Mediterranean Desertification and Land Use - Managing Desertification”.

PREVITALI F., (1996), *Abruzzo Region and Sardinia: Geomorphological Processes*, in Final Report Covering the Period 1 January 1991 to 30 September 1995, (MEDALUS II Project 4) “MEDALUS: Mediterranean Desertification and Land Use - Managing Desertification”.

SANTINI A., (1999), *Application of the MEDRUSH Model to the Agri*, in Final Report Covering the Period 1 January 1996 to 31 December 1998, (MEDALUS III Project 1) “MEDALUS: Mediterranean Desertification and Land Use”.

M. Sciortino (2003) *Qualità e ambiente – La lotta alla desertificazione, l’attività dell’ENEA con riferimento particolare alla Sicilia*.

SOIL SURVEY STAFF (1994), *Soil Survey Manual, Agricultural Handbook n. 18, USDA, Natural Resources Conservation Service, Washington D.C., USA*.

THORNES J. B., MAIROTAP., (1995), *Medalus: Achievements and Prospects*, in Proceedings of the Conference held in Sassari, Italy, 25 May 1994 “Land Use and Soil Degradation: MEDALUS in Sardinia”, eds. Enne G., Pulina G., Aru A., Alghero.

UNCCD (1977). *Desertification: its causes and consequences*. Pergamon Press, Oxford, UK.

UNEP (1997). *World Atlas of Desertification* (second Edition). London, Arnold Ed.

# **ALLEGATO 1: CARTOGRAFIE**