



CARTA DELLE AREE SENSIBILI
ALLA DESERTIFICAZIONE
(ENVIRONMENTALLY SENSITIVE
AREAS TO DESERTIFICATION, ESAS)

scala 1:100000

Relazione tecnica

a cura di A. Motroni, S. Canu, G. Bianco, G. Loj

Aprile 2004

Ringraziamenti

L'impostazione del presente lavoro e la multidisciplinarietà che lo ha contraddistinto nella fase di rielaborazione della metodologia e presentazione dei risultati ha coinvolto molte professionalità afferenti a diversi Enti. Si desidera quindi ringraziare tutte le persone che, in misura diversa, hanno fornito il proprio contributo.

In particolare:

- Il Prof. Salvatore Madrau del Dipartimento di Ingegneria del Territorio – Sezione di Geopedologia e Geologia Applicata dell'Università degli Studi di Sassari per la consulenza scientifica nella classificazione dei suoli e nella determinazione dell'Indice di Qualità del Suolo.*
- Il Nucleo Ricerche Desertificazione (NRD) dell'Università degli Studi di Sassari nelle persone del direttore, Prof. Enne, del dott. Claudio Zucca e della Dottoressa Chiara Zanolla per la collaborazione dimostrata.*
- La Prof.ssa Donatella Spano del Dipartimento di Economia e Sistemi Arborei dell'Università degli Studi di Sassari e il Dott. Pierpaolo Duce del CNR IBIMET – Istituto di Biometeorologia, per il parere scientifico sulla metodologia e sulle modifiche apportate.*
- Il Dott. Luigi Ledda del Dipartimento di Scienze Agronomiche e Genetica Agraria dell'Università di Sassari per i preziosi consigli nella stima dell'indice di pascolamento.*
- Il Dott. Daniele Pittalis per la disponibilità dimostrata nel fornire consigli scientifici e metodologici.*
- L'Ente Foreste Sardegna-Servizio Territoriale Tempio Pausania, nelle persone del Dott. Aldo Derudas, del Geom. Domenico Azzena e del dott. Giovanni Filigheddu per le informazioni fornite e per la consulenza tecnica sul campo.*
- Del Servizio Agrometeorologico Regionale per la Sardegna: il dottor Michele Fiori per l'apporto riguardante il calcolo del bilancio idrico e la messa a punto dell'indice di aridità, il dottor Alessandro Delitala per la interpolazione dei dati meteorologici, l'Ing. Roberto Pinna Nossai per il supporto tecnologico, Luca Fadda per l'implementazione del calcolo dell'indice on line e l'impaginazione dello studio sul sito web, Dina Sechi per la veste grafica e l'impaginazione della relazione e dei CD-Rom, nonché tutti i colleghi del S.A.R. che, a vario titolo, hanno contribuito alla redazione del presente lavoro.*

INDICE

INTRODUZIONE

	Pagina
1. Indicatori di Qualità del Suolo	8
2. Indicatori di Qualità del Clima	16
3. Indicatori di Qualità della Vegetazione.....	24
4. Indicatori di Qualità della Gestione	31
5. Calcolo dell'Indice delle Aree Sensibili Alla Desertificazione (ESAI).....	38
6. Risultati e Conclusioni	40

Bibliografia

Appendice

Introduzione

Per *desertificazione* si intende un processo dinamico, distribuito nel tempo, in grado di influire negativamente sull'equilibrio degli ecosistemi, causando alterazioni nei cicli vitali, e di provocare una diminuzione della produttività delle risorse naturali. I fattori che incidono nel processo di desertificazione sono principalmente rappresentati sia dai cambiamenti climatici e sia dalle attività antropiche, che determinano impatti negativi sull'ambiente. Questi processi, talvolta irreversibili, sono la diretta conseguenza di uno sfruttamento non razionale delle risorse naturali, che determina il loro esaurimento, favorendo l'abbandono delle aree non più produttive, caratterizzandole come aree svantaggiate, in cui si instaurano processi di degrado.

Il complesso fenomeno della desertificazione racchiude molteplici aspetti di natura climatica e ambientale, ma rispecchia soprattutto il comportamento e la sensibilità dell'uomo nei confronti dell'ambiente che lo circonda.

La definizione proposta dall'UNCCD¹, ossia "degrado delle terre nelle aree aride, semi-aride e sub-umide secche, attribuibile a varie cause, fra le quali variazioni climatiche ed attività umane", sintetizza egregiamente ciò che si intende per desertificazione.

Il presente lavoro rientra nell'ambito delle attività previste dal Comitato Nazionale per la lotta alla desertificazione (DCPM 26.9.97 GU n.43 del 21.2.98) che ha approvato, in data 22\07\99 le "Linee Guida per le politiche e misure nazionali di lotta alla desertificazione" (PAN), predisposte sulla base degli indirizzi della delibera del CIPE n. 154 del 22 dicembre 1998, che definiscono le azioni necessarie a combattere la desertificazione ed il degrado del territorio in Italia nel rispetto degli impegni sottoscritti nell'ambito della Convenzione delle Nazioni Unite sulla lotta alla siccità e desertificazione.

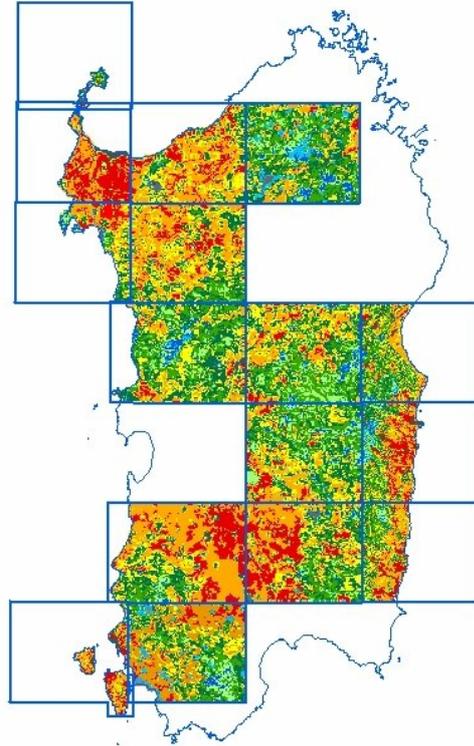
La Regione Autonoma della Sardegna, con la deliberazione n.14\2 del 23.03.2000 della Giunta Regionale, per l'attuazione delle indicazioni formulate dalla delibera CIPE del 21 dicembre 1999, si è attivata predisponendo entro il 31 maggio 2000, data stabilita dal CIPE per la consegna, il *Programma regionale per la lotta alla desertificazione*. La segreteria tecnica Regionale incaricata ha predisposto un elaborato preliminare in grado di definire le priorità principali con una limitata individuazione sul territorio degli epicentri di rischio di desertificazione sulla base delle indicazioni delle strutture e degli enti regionali.

L'ERSAT (Ente Regionale di Sviluppo e Assistenza Tecnica in Agricoltura), come da incarico trasmesso con la nota n.0552/CEE del 12 aprile 2000 della Presidenza della Giunta, nell'ambito delle attività previste dalla segreteria tecnica regionale per la lotta alla siccità e alla desertificazione per la predisposizione del Piano di Azione Nazionale (PAN) e del Programma Regionale, ha sviluppato un programma di azione e monitoraggio con la collaborazione del Servizio Agrometeorologico Regionale per la Sardegna, in particolare finalizzata alla "Realizzazione del sistema informativo geografico per l'individuazione ed il monitoraggio delle aree sensibili alla desertificazione in Sardegna" (Convenzione Rep. Gen. N. 13924 del 10/02/00 e successiva nota integrativa). Lo studio, che in una prima fase ha visto la realizzazione della carta delle aree vulnerabili al rischio di desertificazione in scala 1:250.000 con l'applicazione della metodologia portoghese (Pimenta et al., 1998), viene ulteriormente dettagliato attraverso l'applicazione di una

¹ Convenzione delle Nazioni Unite per la lotta alla siccità e alla desertificazione

metodologia più adatta e completa ad una scala maggiore (1:100.000). In particolare, secondo quanto convenuto, sono state prese in considerazione le seguenti 16 aree corrispondenti ad altrettanti fogli IGM in scala 1:100.000:

- Isola Asinara (foglio 166)
- Porto Torres (foglio 179)
- Sassari (foglio 180)
- Tempio Pausania (foglio 181)
- Alghero (foglio 192)
- Bonorva (foglio 193)
- Capo Mannu – Macomer (foglio 205-206)
- Nuoro (foglio 207)
- Dorgali (foglio 208)
- Isili (foglio 218)
- Lanusei (foglio 219)
- Capo Pecora – Guspini (foglio 224-225)
- Mandas (foglio 226)
- Muravera (foglio 227)
- Isola di S. Pietro (foglio 232)
- Carbonia (foglio 233)



Nello sviluppo dello studio, il Servizio Agrometeorologico Regionale per la Sardegna ha applicato la medesima metodologia in scala 1:250.000 a tutto il territorio regionale con lo scopo di fornire una cartografia standard comparabile con studi simili a scala regionale di altre aree del bacino del Mediterraneo.

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 (Environmentally Sensitive Areas), ha lo scopo di individuare le aree sensibili alla desertificazione, alla scala 1:100000, attraverso l'applicazione di indicatori sia biofisici che socio-economici che consentono di classificare le aree in critiche, fragili e potenziali.

I diversi tipi di ESAs alla desertificazione possono essere analizzati in relazione a vari parametri, relativi a quattro categorie di indici:

1. Indice di Qualità del Suolo (SQI, Soil Quality Index)

Prende in considerazione le caratteristiche del terreno, come il substrato geologico, la tessitura, la pietrosità, lo strato di suolo utile per lo sviluppo delle piante, il drenaggio e la pendenza.

2. Indice di Qualità del Clima (CQI, Climate Quality Index)

Considera il cumulato medio climatico di precipitazione, l'aridità e l'esposizione dei versanti.

3. Indice di Qualità della Vegetazione (VQI, Vegetation Quality Index)

Gli indicatori presi in considerazione sono il rischio d'incendio, la protezione dall'erosione, la resistenza alla siccità e la copertura del terreno da parte della vegetazione.

4. Indice di Qualità di Gestione del Territorio (MQI, Management Quality Index)

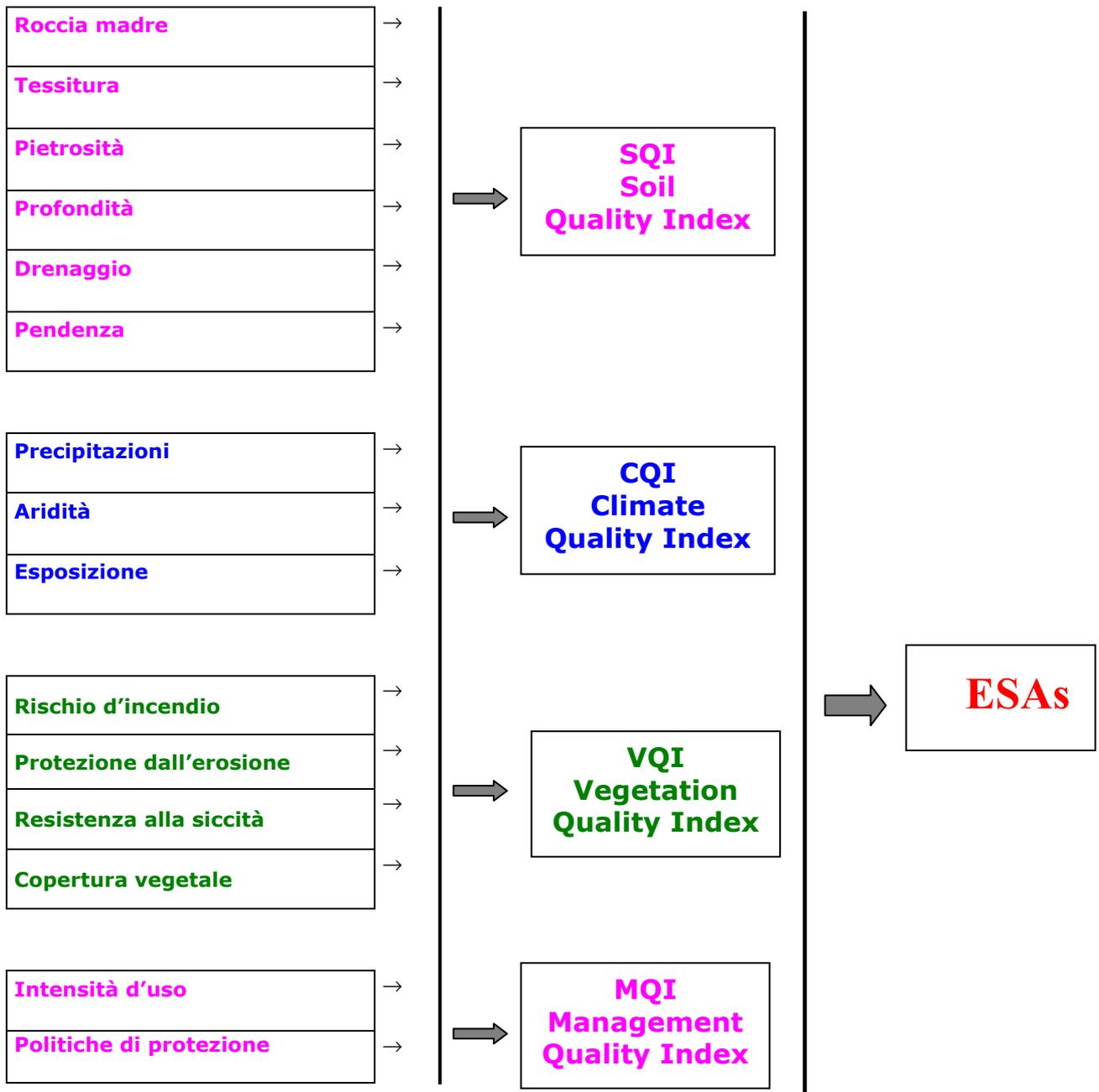
Si prendono in considerazione l'intensità d'uso del suolo e le politiche di protezione dell'ambiente adottate.

Per l'individuazione degli indici ESAs è necessario il calcolo dei singoli indicatori che costituiscono ciascuna categoria. A ciascun indicatore si associa un valore indice. La media geometrica dei valori indice per ciascuna categoria fornisce i valori di SQI, CQI, VQI e MQI.

L'indice finale di sensibilità alla desertificazione **ESAI** (Environmentally Sensitive Area Index) si ottiene calcolando la media geometrica dei diversi indicatori, attraverso la seguente relazione:

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

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



È bene sottolineare come, rispetto a quanto proposto da Kosmas et al. (1999), sia stato necessario apportare le adeguate modifiche nell'applicazione della metodologia ESAs al caso di studio della Sardegna. Le caratteristiche pedologiche, climatiche, di uso del suolo, di gestione del territorio e la scala di studio adottata hanno imposto, in alcuni casi, delle scelte metodologiche differenti rispetto al modello originale.

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. Si è pertanto implementato un Sistema Informativo Geografico (GIS) che contiene tutte le informazioni cartografiche e alfanumeriche indispensabili per l'individuazione degli indicatori suddetti. Il GIS, come è noto, è un sistema informatizzato che permette di acquisire, memorizzare, controllare, integrare, elaborare e rappresentare dati che sono spazialmente riferiti alla superficie terrestre.

Il primo passo nella progettazione del GIS, sviluppato con il software ArcGIS, prodotto dalla ESRI, ha riguardato l'acquisizione di tutta la cartografia ritenuta necessaria sulla base degli indicatori individuati, che in molti casi era già disponibile nel Sistema Informativo Territoriale del SAR; in altri casi, invece, è stata richiesta agli Enti che ne avevano la disponibilità. Il sistema di coordinate adottato è stato UTM ED50, per cui tutti i tematismi sono stati georiferiti secondo questa proiezione.

Si è inoltre sviluppato il database, con una prima fase di strutturazione fisica delle tabelle e del formato dei record, cui ha fatto seguito l'immissione dei dati alfanumerici.

Dall'elaborazione dei dati cartografici sono stati ottenuti gli indicatori sotto forma di carte tematiche; a ciascuna di queste sono stati attribuiti degli indici in formato numerico, operazione necessaria per effettuare le elaborazioni previste dal modello **ESAs**.

Alcuni indicatori sono puntuali e non areali e presentano il problema ulteriore della loro spazializzazione; anche in tal caso si deve ricorrere ad opportune elaborazioni geografiche, messe a disposizione dalle tecnologie proprie del GIS.

Il sistema di elaborazione ed il data base così strutturati presentano una elevata flessibilità che consente eventuali integrazioni o aggiornamenti successivi sulla base, anche, di nuove conoscenze tecniche, senza che siano snaturati i contenuti concettuali. Resta inteso che la corretta esecuzione del metodo prevede un'accurata verifica della qualità dei dati di base, dalla quale dipende l'attendibilità del risultato finale. La diretta conoscenza degli aspetti critici del territorio consente, inoltre, la corretta taratura degli indici e l'individuazione dei limiti delle classi di sensibilità alla desertificazione.

Nelle pagine seguenti è presentata la metodologia a partire dalla descrizione di ciascun indicatore utilizzato.

3.1 INDICATORI DI QUALITÀ' DEL SUOLO

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. Vi sono casi in cui la

desertificazione procede in modo irreversibile anche nei terreni sufficientemente profondi, quando il loro bilancio idrico non è in grado di soddisfare i fabbisogni idrici delle piante. Raramente, nelle aree semi-aride e sub-umide, sono stati riscontrati casi di terreni desertificati per le condizioni di carenza degli elementi nutritivi essenziali per la crescita delle piante.

Altro aspetto importante è rappresentato dai processi di modifica di caratteristiche e proprietà dei suoli all'esercizio prolungato dell'irrigazione. Ciò concerne non solo i problemi di salinizzazione di alcuni suoli nelle zone costiere (Cagliari, Muravera), ma anche di idromorfia nonché di formazione di orizzonti calcici in aree che si originano da substrati carbonatici (Aru et al., 1998).

Le caratteristiche pedologiche delle aree interessate da questo lavoro sono state derivate dalla Carta Ecopedologica della Sardegna in scala 1:250000, realizzata per il Joint Research Centre di Ispra nell'ambito della Carta Ecopedologica d'Italia (in stampa), fatta eccezione per il territorio della Provincia di Sassari per il quale è stata utilizzata la carta dei suoli realizzata dal Prof. Madrau in scala 1:50000, non ancora pubblicata. In entrambi i casi, per la descrizione dei suoli e delle loro caratteristiche, sono state individuate le *unità di paesaggio o fisiografiche* esistenti e per ciascuna di esse si sono descritti i tipi pedologici presenti in funzione dei rapporti esistenti tra questi e le principali morfologie.

Per *unità di paesaggio* si intende "una porzione di territorio sufficientemente omogenea nelle sue caratteristiche geologiche, morfologiche, climatiche e quindi presumibilmente omogenea anche nei suoi aspetti pedologici" (Madrau et al., 1999). In ciascuna *unità di paesaggio* è quindi possibile riconoscere e studiare le *unità di mappa o cartografiche* in essa presenti. Ognuna di queste *unità di mappa* presenta precise caratteristiche morfologiche e di uso del suolo ed è caratterizzata dalla presenza di uno o più *tipi pedologici*, cioè i suoli così come vengono descritti nelle diverse tassonomie (Pittalis, 2002). Per la classificazione dei tipi pedologici si sono utilizzati due sistemi: la classificazione nota come Soil Taxonomy (USDA, 1999) e quella adottata dalla FAO e dall'UNESCO quale legenda della Carta Mondiale dei Suoli (1989).

Le *unità fisiografiche* individuate nelle aree di studio sono:

- a- paesaggi delle formazioni metamorfiche del Paleozoico e relativi depositi di versante
- b- paesaggi delle formazioni intrusive del Paleozoico e relativi depositi di versante
- c- paesaggi delle formazioni arenacee del Permo-Trias e relativi depositi di versante
- d- paesaggi delle formazioni calcaree cristalline del Mesozoico e relativi depositi di versante
- e- paesaggi delle formazioni effusive acide del Mesozoico e relativi depositi di versante
- f- paesaggi delle formazioni sedimentarie del Cenozoico e relativi depositi di versante
- g- paesaggi delle formazioni effusive basiche Plio-quadernarie (basalti)
- h- unità di paesaggio delle alluvioni mio-plioceniche e pleistoceniche e dei depositi eolici pleistocenici paesaggi delle alluvioni recenti e attuali, Olocene
- l- paesaggi dei depositi eolici dell'Olocene.

Si rimanda allo studio condotto dal prof. Madrau per la realizzazione della Carta Ecopedologica della Sardegna, per una descrizione più approfondita delle singole *unità fisiografiche* e delle *unità cartografiche* associate.

Gli indicatori di qualità del suolo possono essere messi in relazione alla disponibilità d'acqua e alla resistenza all'erosione; sono rappresentati da caratteristiche del suolo come la roccia madre, la tessitura, la pietrosità, la profondità, il drenaggio e la pendenza.

Ogni unità cartografica riportata sulla carta possiede le informazioni relative ai seguenti indicatori: roccia madre, tessitura, pietrosità, profondità e drenaggio. Per ciascuno di tali indicatori si è creato un tematismo e si sono attribuiti i valori di indice in base alle caratteristiche descritte di seguito, mentre l'indicatore della pendenza è stato calcolato su un DEM (Digital Elevation Model) con risoluzione spaziale di 20 metri.

1.1 Roccia madre

Molte caratteristiche dei suoli dipendono dalle proprietà chimiche e fisiche della roccia madre. 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 calcaree cristalline sono generalmente poco profondi, facilmente erodibili e non consentono un rapido 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, come ad esempio le andesiti, che 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, nonostante la loro bassa produttività negli anni più piovosi, possono mantenere un buono stato idrico anche durante gli anni siccitosi, e conseguentemente una buona copertura vegetale del terreno e una elevata produzione di biomassa.

Nella tabella seguente sono riportati i diversi tipi di roccia madre e gli indici di sensibilità alla desertificazione corrispondenti.

Classe	Descrizione	Roccia madre	Indice
1	Buona	Scisti, conglomerati, depositi non consolidati, roccia basica e ultrabasica	1.0
2	Moderata	Marmo, granito, riolite, gneiss, ignimbrite, arenaria	1.7
3	Scarsa	Marna, conglomerati magmatici	2.0

Tabella 1.1

1.2 Tessitura

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

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	Descrizione	Classi tessiturali	Indice
1	Buona	F, FSA, FS, SF, FA	1.0
2	Moderata	AS, FL, FLA	1.2
3	Scarsa	L, A, AL	1.6
4	Molto scarsa	S	2.0

Tabella 1.2

1.3 Pietrosità

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). In generale, il ruscellamento e la perdita di sedimenti sono più evidenti nelle aree con notevole pietrosità superficiale. Le perdite di suolo dovute a piogge intense e prolungate aumentano all'aumentare della percentuale della rocciosità superficiale anche del 20%. Al di sopra di questo valore, il limitato spazio tra le pietre impedisce la formazione di canali di erosione e quindi la perdita di suolo (Bunte e Poesen, 1993). 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 seguente:

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

Tabella 1.3

1.4 Profondità del suolo

La profondità del suolo influenza soprattutto lo sviluppo delle piante attraverso la presenza di un orizzonte di terreno sufficientemente profondo per lo sviluppo degli apparati radicali. Suoli formati su differenti tipi di roccia madre mostrano una diversa capacità di sostenere diversi tipi di copertura vegetale: gli orizzonti piroclastici, per esempio, impediscono lo sviluppo delle radici in quanto lo strato di suolo disponibile può essere anche di pochi centimetri. Se la profondità utile di suolo assume valori più bassi, tutte le forme di vegetazione perenne non possono essere supportate e solo poche specie vegetali sopravvivono. I suoli derivanti da rocce metamorfiche, a parità di condizioni climatiche, presentano una maggiore capacità di supportare lo sviluppo di specie perenni, con una profondità del suolo minima di soli 4-5 cm.

In generale, un suolo profondo garantisce una maggiore copertura vegetale per la possibilità che le piante hanno di trovare una maggiore riserva idrica, e offre una maggiore resistenza all'erosione e alla desertificazione.

La tabella mostra le diverse classi di profondità dei suoli e l'indice di desertificazione corrispondente.

Classe	Descrizione	Profondità (cm)	Indice
1	Elevata	>75	1.0
2	Moderata	30-75	2.0
3	Scarsa	15-30	3.0
4	Molto scarsa	<15	4.0

Tabella 1.4

1.5 Drenaggio

Dal punto di vista dei processi che portano alla desertificazione, il drenaggio ha importanza in relazione alla possibile salinizzazione dei terreni. Il trasporto e la concentrazione dei Sali nel profilo del suolo riflettono le condizioni prevalenti di bilancio idrico e l'altezza dell'acqua di falda. In tal senso, le condizioni di evapotraspirazione, precipitazione e le caratteristiche del profilo del suolo sono importanti nel determinare la velocità con cui l'acqua drena verso gli strati profondi e per la distribuzione dei Sali nel terreno. In base a tali considerazioni, si possono definire le seguenti classi:

Classe	Descrizione	Indice
1	Buono	1.0
2	Imperfetto	1.2
3	Scarso	2.0

Tabella 1.5

Per gli indicatori di qualità del suolo (roccia madre, tessitura, pietrosità, drenaggio, profondità del suolo) fin qua descritti e derivati dalla Carta Ecopedologica della Sardegna è stato quindi possibile definire una classe di rischio e un indice di desertificazione corrispondente. Il passo successivo è consistito nella attribuzione degli indici di sensibilità alla desertificazione per ciascuna delle unità fisiografiche e le relative unità cartografiche presenti nei fogli in scala 1:100.000, in base alle informazioni di carattere pedologico e morfologico, come riassunto nella tabella 1.6:

Unità	Pietrosità superficiale	Materiale parentale	Tessitura	Profondità	Drenaggio
<i>a - paesaggi delle formazioni metamorfiche del Paleozoico, e relativi depositi di versante</i>					
1	1	1,7	1	3	1
2	1	1,7	1	3	1
3	1	1,7	1	2	1
<i>b - paesaggi delle formazioni intrusive del Paleozoico e relativi depositi di versante</i>					
4	1	1,7	1	3	1
5	1,3	1,7	1	2	1
6	1,3	1,7	1	2	1
7	2	1,7	1	2	1
8	1	1,7	1	3	1
<i>c - paesaggi delle formazioni arenacee del Permo - Trias e relativi depositi di versante</i>					
9	1	1,7	1	3	1
10	1,3	1,7	1	3	1
11	2	1,7	1,6	3	1
12	2	1,7	1	2	1
13	1,3	1,7	1	3	1,2
14	1,3	1,7	1	2	1,2
15	1,3	1,7	1	2	1,2
16	2	1,7	1	1	1,2
17	2	2	1	2	1,2
18	2	2	1,6	1	2
19	1,3	1,7	1	3	1
20	2	2	1	2	1
21	1,3	1,7	1	3	1
22°	3	1,7	1	2	1
22	2	1,7	1	2	1
23	2	1,7	1	2	1
24	2	1,7	1	2	1,2
25	2	1,7	1	2	1
26	2	1	1	1	1
27	2	1,7	1	1	1
28	2	1	1	1	1
<i>g - paesaggi delle formazioni effusive basiche (basalti)</i>					
29	1	1	1	3	1,2
30	1	1	1	2	1,2
31	1,3	1	1	1	1,2
32	1,3	1	1	1	1,2
33	2	1	1,6	1	1,2
34	2	1	1,6	1	1
35	1,3	1	1	1	1,2
36	1,3	1	1	2	1,2
37	1,3	1	1	1	2
38	2	1	1	1	1
39	1	1,7	1	1	1
40	1	1	1	1	1
<i>i - paesaggi delle alluvioni recenti ed attuali</i>					
41	1,3	1	1	1	1
42	3	1	1,6	2	1,2
43	3	1	1,6	1	1
<i>I - paesaggi dei depositi eolici dell'Olocene</i>					
44	2	1	2	4	1

Tabella 1.6

3.2 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. In superfici acclivi, il rischio di erosione dipende inoltre dalla frequenza delle precipitazioni intense. Nei terreni agrari a elevata pendenza sono maggiori i rischi di erosione dovuti a lavorazioni poco razionali.

Il calcolo delle classi di pendenza è stato effettuato attraverso l'elaborazione di un DEM (Digital Elevation Model) con risoluzione spaziale di 20 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.

Classe	Descrizione	Pendenza (%)	Indice
1	Nulla-molto debole	<5	1.0
2	Debole	5-20	1.2
3	Elevata	20-40	1.5
4	Molto elevata	>40	2.0

Tabella 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:

$$\text{SQI} = (\text{roccia madre} \times \text{tessitura} \times \text{pietrosità} \times \text{profondità del suolo} \times \text{drenaggio} \times \text{pendenza})^{1/6}$$

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	Alta qualità	<1.13
2	Moderata qualità	1.13-1.45
3	Bassa qualità	>1.45

Tabella 1.8

2. INDICATORI DI QUALITÀ DEL CLIMA

Per i processi di desertificazione, l'influenza del clima nelle zone aride e semi-aride del Mediterraneo è data dalle condizioni di crescente aridità, caratterizzate da sempre più frequenti annate siccitose. La distribuzione irregolare delle precipitazioni durante l'anno, la frequenza degli eventi estremi e la durata irregolare della stagione vegetativa nell'ambiente mediterraneo sono i fattori principali che contribuiscono al degrado del territorio. Le condizioni atmosferiche che caratterizzano un clima desertico sono quelle che creano un severo deficit idrico, con valori di evapotraspirazione potenziale (Eto) maggiori rispetto agli apporti idrici sotto forma di precipitazioni. Tali condizioni sono calcolate attraverso diversi indici, tra i quali l'indice bioclimatico FAO-UNESCO (1977), dato dal rapporto P/Eto. In funzione di questo indice, le aree sensibili alla desertificazione possono essere suddivise nelle seguenti categorie:

- a) zone aride $0.03 < P/Eto < 0.20$
- b) zone semi-aride $0.20 < P/Eto < 0.50$
- c) zone sub-umide $0.50 < P/Eto < 0.75$

Un'area subisce un processo naturale di desertificazione quando il rapporto P/Eto raggiunge valori al di sotto di una certa soglia, a prescindere dal valore degli altri parametri. D'altro canto, quando il rapporto supera una soglia superiore, la desertificazione non avanza.

La seguente relazione, semplice ma indicativa, è proposta per valutare il rischio di desertificazione indotto da fattori climatici:

DESERTIFICAZIONE \leftarrow **0.03 > P/ETo >** \rightarrow **0.75** **NO DESERTIFICAZIONE**

La metodologia ESAs, messa a punto da Kosmas et al. (1999), prende in considerazione tre parametri, legati alle variabili climatiche, che tendono a definire le aree maggiormente sensibili alla desertificazione: le precipitazioni, l'indice di aridità e l'esposizione dei versanti.

2.1 Precipitazioni

La disponibilità delle risorse idriche viene considerata attraverso l'analisi del valore annuale del cumulo medio climatico delle precipitazioni. Questo dato è importante sia in funzione della disponibilità idrica media dei territori oggetto di studio, sia del rischio erosivo dovuto alle precipitazioni.

Secondo studi condotti da Kosmas nel 1998, valori di precipitazione annuale di 280-300 mm portano ad una maggiore perdita di suolo, secondo quanto risulta da alcuni rilievi effettuati in vari siti di studio. Nelle regioni caratterizzate da un cumulo medio annuo di precipitazione superiore a 300 mm vi è la tendenza ad una maggiore perdita di sedimenti al diminuire delle precipitazioni. Infatti, il cumulo annuale e la distribuzione delle precipitazioni sono i principali fattori che determinano la produzione di biomassa nelle aree collinari in ambiente mediterraneo. La riduzione delle precipitazioni, combinata con alti tassi di evapotraspirazione, riduce drasticamente il contenuto idrico del suolo disponibile per la crescita delle piante. La ridotta produzione di biomassa influenza direttamente il contenuto di sostanza organica del suolo e il grado di aggregazione e di stabilità degli orizzonti superficiali contro l'erosione. Viceversa, in aree caratterizzate da valori del cumulo annuale inferiore a 280 mm si ha una riduzione di fenomeni erosivi al decrescere delle precipitazioni.

I dati relativi alle precipitazioni utilizzati nello studio sono quelli della Banca Dati storica, patrimonio esclusivo del Servizio Agrometeorologico Regionale per la Sardegna. È stata utilizzata la serie storica relativa al trentennio 1971-2000, poiché ritenuta sufficiente per l'individuazione delle classi climatiche, come si può facilmente riscontrare dalle indicazioni della Organizzazione Mondiale della Meteorologia. Dai dati giornalieri, relativi a circa 200 stazioni meteorologiche, una volta omogeneizzati e resi pertanto comparabili tra loro, è stato ricavato il cumulo medio mensile di precipitazione per ciascuno dei trenta anni considerati. Tali dati sono stati interpolati in una griglia regolare di 240 celle di 10 km x 10 km di lato, allo scopo di ottenere una distribuzione omogenea sull'intero territorio regionale. Per l'interpolazione dei dati di precipitazione si è utilizzata una regressione trilineare, cioè una regressione lineare a tre variabili (latitudine, longitudine e quota). Per ciascuna cella della griglia è stato infine calcolato il valore del cumulo medio climatico di precipitazione, utilizzato per la classificazione secondo la metodologia ESAs, riassunta nella tabella seguente:

Classe	Precipitazioni (mm)	Indice
1	>650	1.0
2	280-650	2.0
3	<280	4.0

Tabella 2.1

2.2 Indice di aridità

L'evoluzione della vegetazione naturale è strettamente collegata alla disponibilità idrica, poiché nelle aree a clima mediterraneo dalla lunghezza e dalla frequenza dei periodi di siccità dipendono la sopravvivenza delle specie e gli eventuali mutamenti degli ambienti naturali. Tuttavia, vi è da sottolineare come la vegetazione tipicamente mediterranea presenti una elevata capacità di adattamento e di resistenza a condizioni siccitose, e come molte specie possano sopravvivere per lunghi periodi di tempo a condizioni di stress idrico prolungato con valori di contenuto idrico del suolo al di sotto del punto di appassimento teorico.

Il calcolo dell'indice di aridità è direttamente collegato con la stima delle precipitazioni e dell'evapotraspirazione. Chiaramente, condizioni di scarse precipitazioni unite ad elevati valori di temperatura (quindi ad elevati tassi di evapotraspirazione) portano ad una notevole riduzione del contenuto di umidità del terreno e di acqua disponibile per la crescita e lo sviluppo della vegetazione.

La metodologia ESAs prevede l'utilizzo dell'indice di aridità proposto da Bagnouls-Goussen, secondo la seguente formula:

$$BGI = \sum (2T_i - P_i) * K$$

in cui:

BGI = Bagnouls-Goussen Index

T_i = Temperatura per il mese i (°C)

P_i = Precipitazioni totali mensili per il mese i (mm)

K = Frequenza con cui si verifica $2T_i - P_i > 0$ per il mese i -esimo (%)

Tuttavia, l'indice di aridità utilizzato nel presente studio è basato su un **modello di bilancio idrico semplificato** in cui si prende in considerazione anche la componente pedologica e il contenuto di acqua disponibile nel suolo, differenziandosi in tal modo dall'indice di Bagnouls-Goussen, in cui il deficit idrico calcolato è solo atmosferico.

Nel modello utilizzato (Reed, 1999), la capacità del terreno di trattenere l'acqua coincide con l'acqua disponibile per le piante, e si ottiene dalla differenza tra il contenuto idrico alla Capacità di Campo (C.I.C.) e il Punto di Appassimento (P.A.). Questo dato assume pertanto una valenza agronomica importante. Per l'analisi della variabilità spaziale e temporale del bilancio idrico del suolo a scala regionale, si è pertanto proceduto all'assegnazione dei valori di acqua disponibile (AWC, Available Water Capacity) ai differenti tipi di suolo. Le caratteristiche che sono state prese in considerazione per il calcolo dell'AWC sono:

- il tipo di suolo
- la tessitura
- la profondità.

Il calcolo del bilancio idrico su base giornaliera prevede l'utilizzo dei valori dell' evapotraspirazione e della precipitazione per l'intero periodo considerato.

I dati climatologici utilizzati per lo studio consistono nelle temperature minima e massima mensili e nei cumulati mensili di precipitazione di circa 200 stazioni meteorologiche.

I dati sono stati preliminarmente spazializzati attraverso diverse procedure di interpolazione: per la temperatura è stata utilizzata la tecnica di interpolazione della "optimum interpolation", mentre per le precipitazioni è stata effettuata una interpolazione trilineare, come già descritto in precedenza.

La interpolazione ha consentito di ottenere una griglia dei dati mensili con 240 celle di 10 km x 10 km sia per le temperature massime e minime, sia per le precipitazioni. Per ciascuna cella della griglia è stato calcolato il valore di Eto.

Il metodo utilizzato per la stima dell'evapotraspirazione potenziale (Eto) è quello di Hargreaves-Samani (1982, 1985), noto come "metodo della radiazione solare stimata", basato sull'escursione termica del mese considerato (differenza tra la temperatura massima media e quella minima media del mese) e sulla radiazione globale solare (Rg), stimata a partire dalla radiazione solare extraterrestre (vale a dire quella che giunge su una ipotetica superficie posta al di fuori dell'atmosfera). L'equazione per la stima dell'evapotraspirazione potenziale su base mensile con il metodo di Hargreaves e Samani può essere così scritta:

$$ET_{HARG} = 0.0023 \frac{R_a}{\lambda} \sqrt{T_d} (T + 17.8)$$

in cui

ET_{HARG}	flusso evapotraspirativo [mm d ⁻¹]
R_a	radiazione solare extraterrestre [MJ m ⁻² d ⁻¹]
T_d	escursione termica mensile [°C]
λ	calore latente di vaporizzazione [MJ kg ⁻¹]
T	temperatura media mensile [°C]

Poiché l'ottenimento dell'indice di aridità secondo la metodologia adottata richiede l'utilizzo di un modello di bilancio idrico su base giornaliera è stato necessario rielaborare i dati mensili per ciascun anno del trentennio 1971-2000, suddividendoli per il numero di giorni di ciascun mese: in tal modo sono stati ottenuti valori stimati "quasi-giornalieri" di evapotraspirazione potenziale e pioggia, per ciascun punto di griglia e per l'intero periodo considerato.

Inoltre, per una più corretta valutazione del tasso di evapotraspirazione su base giornaliera è stata calcolata l'evapotraspirazione "reale". Occorre considerare, infatti, che l'acqua contenuta nel suolo viene estratta ad un livello potenziale finché non si raggiunge una soglia di contenuto idrico in corrispondenza della quale il tasso di evapotraspirazione non è più controllato dalle sole condizioni meteorologiche ma risente delle reali condizioni di umidità del suolo. Al di sotto di questa soglia critica si registra una riduzione nella quantità di acqua estratta dal suolo finché non si raggiunge progressivamente il punto di appassimento, in cui l'acqua è trattenuta nel terreno con una tale forza da non essere più disponibile per le piante.

In questo studio si è pertanto proceduto al calcolo giornaliero dell'evapotraspirazione effettiva o reale (Eta) che tiene conto delle condizioni di umidità del suolo.

La stima dell'evapotraspirazione reale (Eta) utilizzata nel modello di bilancio idrico proposto è ottenuta attraverso una funzione di estrazione dell'umidità del suolo o "coefficiente di evapotraspirazione" f . Il coefficiente mette in relazione il tasso reale con il tasso potenziale di evapotraspirazione secondo la formula

$$Eta = f * Eto$$

ed è basato sull'andamento del valore del contenuto corrente di umidità (w) rispetto alla acqua disponibile del terreno (w^*)

$$f = \frac{w}{w^*}$$

in cui

f	coefficiente di evapotraspirazione
w	contenuto idrico del suolo in un dato giorno (espresso come percentuale dell'AWC)
w^*	acqua disponibile del terreno (AWC)

Pertanto, il valore di Eta calcolato per un dato giorno risulta proporzionale al contenuto idrico del suolo rispetto all'acqua disponibile che lo stesso suolo può contenere.

Il modello di bilancio idrico semplificato adottato nel presente studio per la stima giornaliera del contenuto idrico dei suoli, per ciascun punto di griglia, può essere perciò formulato:

$$w_i = w_{i-1} + P_i - f_{i-1} ETo_i$$

in cui:

w_i = contenuto idrico del suolo nel giorno i

w_{i-1} = contenuto idrico del suolo nel giorno precedente

P_i = precipitazioni del giorno i

ETo_i = evapotraspirazione potenziale del giorno i

$f_{i-1} = w_{i-1}/w^*$ = coefficiente di evapotraspirazione del giorno $i-1$

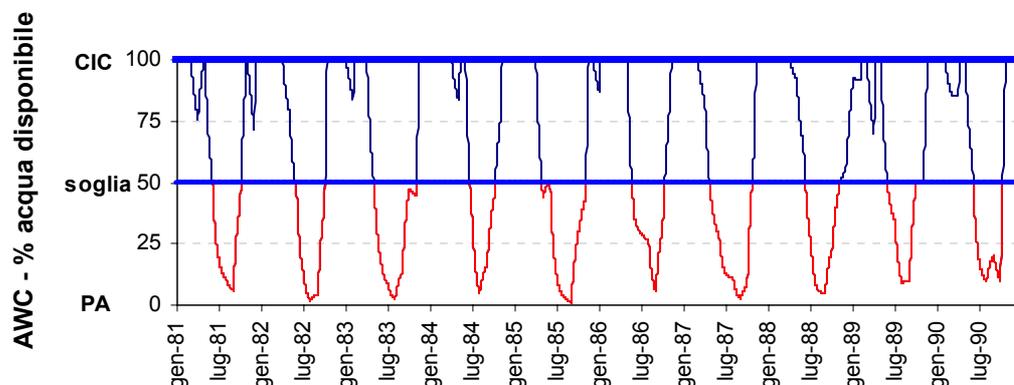
w^* = capacità idrica del terreno (AWC)

Esplicitando la formula, il contenuto di umidità di un suolo (w_i) in un dato giorno è pari al valore del contenuto di umidità del giorno precedente (w_{i-1}), incrementato degli eventuali apporti di pioggia (P_i), e ridotto delle perdite per evapotraspirazione reale ($f_{i-1} Eto_i$) del medesimo giorno. V_i è da notare come la funzione di estrazione dell'acqua o "coefficiente di evapotraspirazione" f , essendo legata al valore di umidità del suolo, non può che riferirsi alle condizioni idriche del giorno precedente.

Il modello non tiene conto dell'acqua gravitazionale, vale a dire dell'eccesso idrico che viene perso dal suolo per percolazione profonda e non è disponibile per le piante. Perciò nel caso in cui gli apporti di precipitazione giornalieri determinino incrementi del contenuto idrico del suolo tali da superare la capacità di campo per un dato tipo di suolo, il modello considera comunque un livello di umidità non superiore all'acqua disponibile, vale a dire $w_i = w^*$.

L'applicazione del modello ha consentito di ottenere valori di umidità giornaliera per ciascun anno del trentennio 1971-2000 considerato e per ciascuno dei 240 punti di griglia, in funzione dell'AWC di partenza.

Esempio dell'andamento dell'umidità del suolo per il decennio 1980-90



Il grafico mostra l'andamento del contenuto di umidità del terreno per un decennio esemplificativo 1980-1990. In rosso vengono espressi i valori di umidità del suolo al di sotto della soglia del 50% di AWC.

L'indice di aridità è stato calcolato considerando la lunghezza del periodo (in giorni) in cui le condizioni di umidità del terreno permanevano al di sotto di determinate soglie per ciascun anno. Sono state effettuate prove con valori soglia differenti di AWC (0%, 10%, 25%, 50% e 75% dell'acqua disponibile). Successivamente, si è tenuto conto del valore medio trentennale del numero di giorni critici rispetto alle diverse soglie considerate.

Si è ritenuto opportuno adottare la soglia del 50% di AWC, sia per valutazioni di tipo agronomico, sia per evitare errori di sottostima o di sovrastima dell'indice di aridità con soglie molto basse (0% dell'acqua disponibile) o molto alte. Per questo motivo, la soglia scelta è quella che meglio di ogni altra consente il mantenimento della massima variabilità spaziale dell'indice all'interno del territorio regionale.

Nella tabella 2.2 viene riportato l'indice di aridità, espresso in numero di giorni di deficit idrico, la corrispondente classe e l'indice associato.

Classe	Giorni di deficit idrico	Indice
1	95-105	1.0
2	106-120	1.1
3	121-135	1.2
4	136-150	1.4
5	151-165	1.8
6	>165	2.0

Tabella 2.2

2.3 Esposizione

L'esposizione dei versanti è considerata un fattore importante per i processi di degrado del territorio, poiché influenza il microclima attraverso l'angolo e la durata dell'incidenza dei raggi solari sulla superficie del suolo. In ambiente mediterraneo, aree con esposizione dei versanti a sud e ad ovest sono raggiunte da una quantità di energia solare incidente maggiore; sono quindi più calde, presentano valori di evapotraspirazione maggiori e una conseguente minore capacità di trattenere l'acqua, rispetto ai versanti esposti a nord e ad est. Nei versanti sud ed ovest il recupero della vegetazione è pertanto più lento e i tassi di erosione sono più elevati rispetto ai versanti nord ed est (Poesen et al., 1998). Studi condotti da Kosmas et al. (1999) in ambienti caratterizzati da diversi tipi di vegetazione hanno evidenziato come il livello di erosione misurato lungo i versanti esposti a sud sia circa doppio o anche superiore rispetto ai versanti nord. In base a questi studi è stato possibile individuare i seguenti indici:

Classe	Esposizione	Indice
1	NO-NE	1.0
2	SO-SE	2.0

Tabella 2.3

Il dato cartografico di base utilizzato per il calcolo delle esposizioni è il DEM (Digital Elevation Model) con una risoluzione spaziale di 20 metri. Un dato così dettagliato, ma necessario data la scala di lavoro, presenta il vantaggio di distinguere i versanti nord dai versanti sud, individuando, ad elevato dettaglio, condizioni microclimatiche ed energetiche differenti, che influenzano notevolmente i processi erosivi legati alla presenza o assenza della vegetazione. Un dettaglio così elevato, però, presenta il problema di sovrastimare l'esposizione nelle aree in cui la pendenza non è tale da determinare la formazione di un versante. Pertanto, dopo un'attenta analisi, si è deciso di non considerare l'esposizione delle aree con pendenza inferiore al 5%, considerandole pertanto alla stregua di aree di pianura (quindi con indice pari a 1), come riportato nella tabella seguente:

Classe	Esposizione	Indice
1	Pendenze <5%, aree di pianura, versanti NO-NE	1.0
2	Versanti SO-SE	2.0

Tabella 2.4

Calcolo dell'Indice di Qualità del Clima (CQI)

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

$$\text{CQI} = (\text{precipitazioni} \times \text{indice di aridità} \times \text{esposizione})^{1/3}$$

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 2.5

3. INDICATORI DI QUALITÀ DELLA VEGETAZIONE

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.

Dopo un'attenta valutazione delle diverse fonti cartografiche relative all'uso e alla copertura del suolo riguardanti la Sardegna, si è optato per l'utilizzazione della carta di uso del suolo CORINE Land Cover in scala 1:100.000.

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". Inoltre, le classi di uso del suolo prese in considerazione nella metodologia ESAs sono solo dodici; pertanto l'utilizzo di una cartografia a maggior dettaglio e con un numero superiore di classi non sarebbe giustificata. I tipi di uso del suolo proposti dalla metodologia di Kosmas sono riassunti nella tabella 3.1:

Classe	Tipo di vegetazione
1	Macchia mediterranea mista a foresta sempreverde
2	Macchia mediterranea
3	Pascoli permanenti
4	Pascoli annuali
5	Foreste decidue
6	Foreste di pini
7	Foreste sempreverdi (eccetto le foreste di pini)
8	Colture agricole perenni sempreverdi
9	Colture agricole perenni decidue
10	Colture annuali a ciclo autunno-vernino
11	Colture annuali a ciclo primaverile estivo
12	Suolo nudo

Tabella 3.1

Le classi della legenda CORINE trovano una buona corrispondenza con le classi proposte dalla metodologia ESAs. La prima fase del lavoro è consistita nella attribuzione delle classi CORINE alle unità vegetali riportate nella metodologia al fine di assegnare, per ciascun indicatore, i valori indice più appropriati. La legenda CORINE è qui di seguito schematizzata:

LEGENDA CORINE

1. TERRITORI ARTIFICIALI

1.1 Aree urbane

1.1.1 Tessuto urbano continuo

1.1.2 Tessuto urbano discontinuo

1.2 Zone industriali o commerciali e reti di comunicazione

1.2.1 Zone industriali o commerciali

1.2.2 Reti stradali e ferroviarie e spazi associati

1.2.3 Aree portuali

1.2.4 Aeroporti

1.3 Aree estrattive, discariche e cantieri

1.3.1 Aree estrattive

1.3.2 Discariche

1.3.3 Cantieri

1.4 Spazi verdi artificiali non agricoli

1.4.1 Aree verdi urbane

- 1.4.2 Aree sportive e ricreative
- 2. TERRITORI AGRICOLI
 - 2.1 Seminativi
 - 2.1.1 Seminativi in aree non irrigue
 - 2.1.2 Seminativi in aree irrigue
 - 2.1.3 Risaie
 - 2.2 Colture permanenti
 - 2.2.1 Vigneti
 - 2.2.2 Frutteti e frutti minori
 - 2.2.3 Oliveti
 - 2.3 Prati stabili
 - 2.3.1 Prati
 - 2.4 Zone agricole eterogenee
 - 2.4.1 Colture annuali associate a colture permanenti
 - 2.4.2 Sistemi colturali e particellari complessi
 - 2.4.3 Aree principalmente occupate dall'agricoltura, con presenza di vegetazione naturale
 - 2.4.4 Aree agroforestali
- 3. TERRITORI BOSCATI E AMBIENTI SEMINATURALI
 - 3.3 Zone boscate
 - 3.3.1 Boschi di latifoglie
 - 3.3.2 Boschi di conifere
 - 3.3.3 Boschi misti
 - 3.4 Zone caratterizzate da vegetazione arbustiva e/o erbacea
 - 3.4.1 Praterie e pascoli naturali
 - 3.4.2 Brughiere e cespuglietti
 - 3.4.3 Aree a vegetazione sclerofilla
 - 3.4.4 Aree a vegetazione boschiva e arbustiva in mutazione
 - 3.5 Spazi aperti senza o con poca vegetazione
 - 3.5.1 Spiagge, dune e sabbie
 - 3.5.2 Rocce nude
 - 3.5.3 Aree con vegetazione rada
 - 3.5.4 Aree incendiate
 - 3.5.5 Ghiacciai e nevi perenni
- 4. ZONE UMIDE
 - 4.1 Zone umide interne
 - 4.1.1 Paludi interne
 - 4.1.2 Torbiere
 - 4.2 Zone umide marittime
 - 4.2.1 Paludi salmastre
 - 4.2.2 Saline
 - 4.2.3 Zone intertidali
- 5. CORPI IDRICI

- 5.1 Acque continentali
 - 5.1.1 Corsi d'acqua, canali e idrovie
 - 5.1.2 Bacini d'acqua
- 5.2 Acque marittime
 - 5.2.1 Lagune
 - 5.2.2 Estuari
 - 5.2.3 Mari e oceani

Le classi di uso del suolo presenti nella legenda CORINE, ma non presenti esplicitamente nelle dodici classi utilizzate dalla metodologia ESAs, sono state di volta in volta analizzate a seconda dell'indicatore considerato, e inserite in una determinata classe di rischio (o di sensibilità) alla desertificazione. Le classi CORINE 2.4.2 ("Sistemi colturali e particellari complessi"), 2.4.3 ("Aree principalmente occupate dall'agricoltura, con presenza di vegetazione naturale") e 2.4.4 ("Aree agroforestali"), per citare gli esempi più eclatanti, sono classi che, a causa della loro eterogeneità, devono essere "interpretate" prima di poter essere inserite in una determinata classe di uso del suolo ESAs. Per questi casi si è fatto ricorso a un controllo incrociato con la carta di Uso del Suolo CASI-3 dell'Istituto Nazionale di Economia Agraria (INEA) in scala 1:70.000, molto più dettagliata nella suddivisione in classi di uso per quanto riguarda le aree agricole. Inoltre, in alcuni casi sono stati effettuati rilievi in campo per avvalorare le scelte metodologiche e cartografiche.

Nei paragrafi seguenti verranno descritti gli indicatori utilizzati per definire l'Indice di Qualità della Vegetazione e i tipi vegetazionali della classificazione CORINE corrispondenti. Verranno inoltre esposte le scelte effettuate per eventuali classi di incerta collocazione.

Gli indicatori chiave del rischio di desertificazione in relazione all'uso del suolo e alla copertura vegetale presente, sia di origine naturale che agricola, sono: a) il rischio d'incendio e la capacità di recupero, b) la protezione dall'erosione, c) la resistenza alla siccità e d) la percentuale di terreno coperto dalla vegetazione.

3.1 Rischio d'incendio e capacità di recupero

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. A parte i casi in cui l'incendio è di origine antropica, utilizzato come tecnica di miglioramento dei pascoli, l'infiammabilità della vegetazione tipicamente mediterranea è molto alta a causa della presenza di un numero notevole di specie con un elevato contenuto di resine e di olii essenziali.

Le specie della macchia mediterranea rispondono al fuoco in modo differente a seconda dell'intensità dell'incendio, della stagione di crescita e dello stadio di maturazione delle piante. Ad esempio, per le specie afferenti al genere *Quercus*, gli incendi che si sviluppano in inverno o in primavera non danneggiano lo sviluppo dei germogli, mentre gli incendi estivi e autunnali, molto più intensi, riducono notevolmente l'abilità di germogliamento di tali specie.

La vegetazione tipicamente mediterranea ha un'elevata capacità di recupero dopo il verificarsi di un incendio e i problemi ambientali legati al fuoco permangono per un limitato numero di anni dopo che l'incendio si è verificato. Il processo di recupero è legato ad una serie di parametri sia di natura antropica sia naturale, oltre che alle caratteristiche dell'incendio e del sito interessato: anni caratterizzati da siccità prolungata, pascolamento eccessivo o cambiamenti nell'uso del suolo possono rallentare o impedire irreversibilmente il recupero della vegetazione naturale. Da diversi studi (Clark, 1996), un fattore molto importante risulta l'intervallo di tempo intercorso tra due eventi successivi. Nel caso di elevata frequenza di incendi si verifica non solo un danno diretto alla vegetazione erbacea e forestale, ma anche la modificazione di importanti caratteristiche fisico-chimiche del suolo, come il contenuto di sostanza organica e di elementi nutritivi, la stabilità della struttura, l'innescio di processi erosivi.

Il rischio di desertificazione dovuto al fuoco è pertanto legato alle caratteristiche intrinseche della vegetazione e a tutti i parametri insiti nella durata, gravità e frequenza degli incendi. Nella presente metodologia sono stati analizzati solo gli aspetti relativi al tipo di vegetazione, in quanto studi specifici sulla natura e dinamica degli incendi in ambiente mediterraneo e sul relativo degrado del suolo e rischio di desertificazione richiederebbero un modello specifico.

In base ai tipi di vegetazione presente, il rischio di incendio e l'indice corrispondente possono essere così riassunti:

Classe	Descrizione	Tipo di vegetazione	Classi CORINE	Indice
1	Basso	suolo nudo, colture agricole perenni, colture agricole annuali (mais, girasole)	2.1.2, 2.2.1, 2.2.2, 2.2.3, 3.3.3, 3.3.4, 4.2.3	1.0
2	Moderato	colture agricole annuali (cereali, pascoli), foreste decidue, macchia mediterranea mista a foresta sempreverde, foresta sempreverde	2.1.1, 2.4.1, 2.4.2, 2.4.3, 2.4.4, 3.1.1, 3.1.3, 3.2.1, 3.2.4	1.3
3	Alto	macchia mediterranea	3.2.3	1.6
4	Molto alto	conifere	3.1.2	2.0

Tabella 3.2

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 l'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 cumulato 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:

Classe	Descrizione	Tipo di vegetazione	Classe CORINE	Indice
1	Molto alta	Macchia mediterranea mista a foresta sempreverde	2.4.4, 3.1.3, 3.2.4	1.0
2	Alta	Macchia mediterranea, conifere, colture agricole perenni sempreverdi (oliveti), pascoli permanenti	2.2.3, 3.1.2, 3.2.1, 3.2.3	1.3
3	Moderata	Foreste decidue	3.1.1	1.6
4	Bassa	Colture agricole perenni decidue (frutteti)	2.2.2	1.8
5	Molto bassa	Cereali, vigneti, erbai, aree con vegetazione rada	2.1.1, 2.1.2, 2.2.1, 2.4.1, 2.4.2, 2.4.3, 3.3.3, 3.3.4, 4.2.3	2.0

Tabella 3.3

3.6 Resistenza alla siccità

Gli ecosistemi mediterranei hanno sviluppato nel corso del tempo una 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 3.3.

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.

Classe	Descrizione	Tipo di vegetazione	Classe CORINE	Indice
1	Molto alta	Macchia mediterranea mista a foresta sempreverde, macchia mediterranea	3.2.3, 3.2.4, 3.3.3, 3.3.4	1.0
2	Alta	Conifere, oliveti, foreste decidue	2.2.3, 3.1.1, 3.1.2, 3.1.3	1.2
3	Moderata	Colture agricole perenni decidue (frutteti, vigneti)	2.2.1, 2.2.2, 2.4.4	1.4
4	Bassa	Pascoli permanenti	2.4.1, 3.2.1, 4.2.3	1.7
5	Molto bassa	Colture agricole annuali, pascoli annuali	2.1.1, 2.1.2, 2.4.2, 2.4.3	2.0

Tabella 3.4

3.7 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.

Classe	Copertura (%)	Tipo di vegetazione	Classi CORINE	Indice
1	> 40%	Colture agricole annuali a ciclo primaverile-estivo, foreste decidue e sempreverdi, macchia mediterranea mista a foresta sempreverde, macchia mediterranea	2.1.2, 3.1.1, 3.1.2, 3.1.3, 3.2.3, 3.2.4	1.0
2	10-40%	Colture agricole annuali a ciclo autunno-vernino, colture agricole perenni decidue (frutteti, vigneti), oliveti, pascoli permanenti, zone intertidali	2.1.1, 2.2.1, 2.2.2, 2.2.3, 2.4.1, 2.4.2, 2.4.3, 2.4.4, 3.2.1, 4.2.3	1.8
3	<10 %	Aree a vegetazione rada, aree incendiate	3.3.3, 3.3.4	2.0

Tabella 3.5

Calcolo dell'Indice di Qualità della Vegetazione (VQI)

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

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

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

Tabella 3.6

4. INDICATORI DI QUALITÀ DELLA GESTIONE

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.

Dal punto di vista agricolo, nel bacino del Mediterraneo un esempio tipico di cattiva gestione del territorio è rappresentato dalle aree collinari che hanno subito nel corso dell'ultimo secolo una estesa deforestazione e sono state destinate alla coltivazione dei cereali autunno-vernini, in particolare il frumento. Come è noto, il terreno investito a cereali rimane nudo per molti mesi in cui si verificano abbondanti e intense precipitazioni, e il rischio di erosione è conseguentemente molto elevato.

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 in particolare l'intensità di uso del territorio e le eventuali politiche di tutela ambientale applicate nell'area oggetto di studio.

4.1 Intensità d'uso del suolo

Per quanto riguarda questo parametro, si fanno considerazioni differenti in relazione al tipo di uso del suolo delle aree oggetto di studio:

a) aree agricole

Si considerano parametri quali il tipo di coltura, la presenza o assenza di irrigazione, il livello di meccanizzazione, l'utilizzo di concimi, erbicidi e pesticidi, distinguendo in questo modo le aree ad agricoltura intensiva e le aree ad agricoltura estensiva, secondo quanto riassunto in tabella, relativa all'intensità d'uso per le aree agricole

Classe	Intensità d'uso	Tipo di coltura	Classe CORINE	Indice
1	Bassa	Oliveti	2.2.3	1.0
2	Moderata	Colture annuali associate a colture permanenti	2.4.1	1.5
3	Alta	Colture irrigue, frutteti, vigneti, sistemi colturali e particellari complessi	2.1.2, 2.2.1, 2.2.2, 2.4.2	2.0

Tabella 4.1

b) aree a pascolo

Il sovrapascolamento costituisce uno dei principali problemi per le aree naturali dell'ambiente mediterraneo per le conseguenze che esso può avere nei processi di desertificazione.

Il pascolo ha rappresentato per la Sardegna la destinazione d'uso prevalente per tutte quelle aree dove la morfologia, il clima, la copertura vegetale e il suolo le rendeva inadatte ad un uso agricolo intensivo (Madrau et al., 1999). Conseguentemente il sovrapascolamento, l'erosione, gli incendi e l'utilizzo di aree non adatte all'agropastorizia di tipo intensivo hanno portato alla desertificazione di oltre il 50% della superficie totale delle aree a pascolo in Sardegna, soprattutto sui substrati più difficilmente alterabili (quarziti, graniti, dolomie), i quali non permettono la ricostituzione, se non in tempi lunghissimi, dei suoli erosi in parte o totalmente (Aru et al., 1998).

Inoltre le maggiori disponibilità economiche, il crescere del livello tecnologico del settore agropastorale hanno accelerato la naturale diminuzione del numero degli addetti presenti nel settore, ma al contempo hanno permesso l'incremento del carico animale gravante sui pascoli e quindi di produttività complessiva degli stessi. L'incremento del carico animale nelle situazioni di marginalità al pascolo - cioè di quelle al limite della condizione d'arabile - è stata ed è la causa principale del degrado di queste aree. Inoltre, la specializzazione verso la produzione del latte dei piccoli ruminanti a far sì che l'allevatore abbia costante necessità di foraggi freschi per gran parte dell'anno, particolarmente di erbe da pascolo, senza le quali non sarebbe possibile ottenere produzioni significative. È questa necessità che costringe l'allevatore a mantenere inerbito lo stesso pascolo e ad estenderne la superficie interessata attraverso le classiche pratiche dell'aratura e dell'incendio, che sono causa diretta dei gravi fenomeni di degrado.

Un eccessivo carico di bestiame porta non solo ad una drastica riduzione della vegetazione naturale, con tutti gli effetti negativi che ne derivano, ma anche all'elevato costipamento da calpestio, come ampiamente descritto anche per la Sardegna da Mulè et al. (2002).

Il calcolo dell'intensità d'uso per le aree a pascolo è stato effettuato attraverso il confronto tra l'indice di pascolamento attuale (Actual Stocking Rate, ASR) e l'indice di pascolamento sostenibile (Sustainable Stocking Rate, SSR). Nelle aree destinate a pascolo, se $ASR < SSR$, il carico di bestiame attuale può essere ampiamente sostenuto dalla vegetazione presente; nel caso contrario, quando $ASR > SSR$, si ha un eccessivo sfruttamento del pascolo e il possibile innesco dei processi di impoverimento e degrado del suolo, poiché la quantità di sostanza secca prodotta è inferiore a quella necessaria per il mantenimento del bestiame.

Il calcolo dell'indice di pascolamento attuale (ASR) è stato effettuato prendendo in considerazione i dati forniti dall'ISTAT relativi alla consistenza degli allevamenti, secondo quanto riportato nel V Censimento dell'agricoltura (ISTAT, 2001). Il numero di capi è relativo all'intera superficie comunale. Il primo passo è consistito nel calcolo delle Unità Capo Grosso (UCG), con la finalità di rendere equivalenti specie zootecniche con caratteristiche piuttosto differenti (bovini, ovini, caprini, ecc.). Secondo la definizione di Unità Capo Grosso, un bovino corrisponde a 10 ovini, a 10 caprini e ad 1 equino, per cui per il calcolo delle UCG per ciascun comune della Sardegna si è seguita la relazione:

$$\mathbf{n^{\circ} UCG = n^{\circ} bovini + n^{\circ} ovini/10 + n^{\circ} caprini/10 + n^{\circ} equini}$$

Il valore dell'indice di pascolamento attuale (ASR) è stato calcolato in termini di UCG per unità di superficie teoricamente pascolata dall'insieme dei bovini, ovini, caprini ed equini presenti nelle aree a pascolo di ciascun comune della regione, ottenendo così il rapporto UCG/ha. La superficie delle aree a pascolo è stata calcolata per ciascun comune prendendo in considerazione le seguenti classi della carta Corine Land Cover:

Classe CORINE	Descrizione	q/ha di sostanza secca
2.1.1	Seminativi in aree non irrigue	70
2.3.1	Prati	100
2.4.3	Aree principalmente occupate dall'agricoltura, con presenza di vegetazione naturale	30
2.4.4	Aree agroforestali	10
3.2.1	Praterie e pascoli naturali	40

Tabella 4.2

Il calcolo dell'indice di pascolamento sostenibile (SSR) è volto a valutare il carico di bestiame, espresso in Unità Capo Grosso, che le aree destinate a pascolo dei diversi territori comunali sono in grado di sostenere. Per tale calcolo, a ciascuna delle classi CORINE contenute nella tabella 4.2 è stato associato un valore medio di sostanza secca prodotta per unità di superficie (S.S./ha), con notevoli differenze tra tipi di copertura del suolo altamente produttivi, come i prati, e tipi vegetazionali eterogenei (classe 2.4.3, "Aree principalmente occupate dall'agricoltura, con presenza di vegetazione naturale"), scarsamente produttivi. A causa della poca chiarezza delle definizioni delle classi CORINE, si è ritenuto opportuno effettuare un controllo cartografico delle aree relative a tali classi con la corrispondente classificazione della Carta di Uso del Suolo INEA-Casi 3 dell'Istituto Nazionale di Economia Agraria, limitando in questo modo gli eventuali errori. Inoltre, alcuni rilievi in campo hanno contribuito a confermare o a correggere l'assegnazione di una data area a un particolare uso del suolo (come ad esempio la classe 2.1.1, "Seminativi in aree non irrigue").

Una volta calcolata la produzione di sostanza secca per ciascun tipo di area destinata a pascolo, si è proceduto al calcolo della somma della sostanza secca prodotta (espressa in q/ha) nel complesso del territorio di ciascun comune che ricade all'interno del foglio in scala 1:100.000 oggetto di studio.

Infine, l'indice di pascolamento sostenibile è stato calcolato applicando la formula:

$$SSR = \frac{SStot \times C.U.}{peso\ medio\ UCG \times L.I. \times anno}$$

dove:

SSR = Indice di pascolamento sostenibile

$SStot$ = Sostanza Secca totale prodotta per anno (q)

$C.U.$ = Coefficiente di Utilizzazione, dato dal rapporto medio annuo tra la quantità di sostanza secca ingerita e quella disponibile (%)

$peso\ medio\ UCG$ = peso medio dell'Unità Capo Grosso (kg)

$L.I.$ = Livello di Ingestione medio giornaliero (%)

$anno$ = durata del pascolamento (giorni)

Utilizzando i dati stimati riferiti alle Unità Capo Grosso, si ottiene

$$SSR = \frac{SStot \times 0.7}{500kg \times 0.5 \times 360} = UCG / ha$$

dove:

SSR = Indice di pascolamento sostenibile in UCG/ha

$SStot$ = Sostanza Secca totale prodotta per anno per unità di superficie (q)

0.7 = Coefficiente di Utilizzazione medio per Unità Capo Grosso

500 kg = peso medio dell'Unità Capo Grosso

0.5 = livello medio di ingestione giornaliero per Unità Capo Grosso

360 = durata media annua del pascolamento in giorni.

L'indice di pascolamento così calcolato presenta delle **approssimazioni** dovute sia alla stima della consistenza degli allevamenti fornita dall'ISTAT, sia alla stima delle produzioni di sostanza secca delle diverse tipologie di vegetazione e, infine, dei parametri medi (peso corporeo, coefficiente di utilizzazione, livello di ingestione) riferiti all'Unità Capo Grosso. L'errore che deriva da tali approssimazioni è comunque limitato dall'individuazione del rischio di desertificazione utilizzato nella metodologia (v. tabella 4.3): vengono infatti considerate aree con una media intensità d'uso per pascolamento quelle che eguagliano o superano, fino a una volta e mezzo, il carico di bestiame sostenibile, mentre solo quelle che superano tale soglia ($>1,5 * SSR$) sono considerate ad alta intensità d'uso. I range sono molto estesi, con ampi scarti tra una classe e quella successiva. Inoltre, i rilievi in campo e il parere degli esperti hanno confortato, in diverse aree della Sardegna, gli indici di intensità d'uso per pascolamento calcolati.

Classe	Intensità d'uso	Indice di pascolamento	Indice
1	Bassa	ASR<SSR	1.0
2	Moderata	ASR=SSR fino a 1.5*SSR	1.5
3	Alta	ASR>1.5*SSR	2.0

Tabella 4.3

c) Aree naturali

Nella metodologia adottata, per naturali si intendono le aree occupate dalla vegetazione spontanea tipica del bacino del Mediterraneo. Macchia mediterranea, macchia mista a foresta sempreverde, boschi di latifoglie, conifere e boschi misti sono le formazioni vegetali maggiormente rappresentate. La metodologia originale tiene conto, per il calcolo dell'intensità d'uso, della produzione attuale (AY) e di quella sostenibile (SY) delle aree naturali gestite dall'uomo. Nel caso della Sardegna, si è tenuto conto del fatto che solo raramente vi sono fini produttivi all'interno delle aree naturali, ma che ci può essere stata una maggiore pressione antropica in determinate aree, come per esempio le aree incendiate e quelle caratterizzate dalla ricolonizzazione di aree non forestali.

Nella tabella seguente sono riportate le classi e i corrispondenti indici di intensità d'uso.

Classe	Intensità d'uso	Classe CORINE	Tipo di vegetazione	Indice
1	Bassa	3.1.1, 3.1.2, 3.1.3, 3.2.3, 3.3.3, 4.2.3	Macchia mediterranea, foresta sempreverde e decidua, conifere, aree con vegetazione rada	1.0
2	Moderata	3.2.4, 3.3.4	Aree incendiate, vegetazione boschiva e arbustiva in mutazione	1.2
3	Alta			2.0

Tabella 4.4

d) Aree minerarie e aree ricreative

La metodologia originale considera anche l'intensità d'uso delle aree minerarie e di quelle ricreative. Per le prime, si dovrebbero valutare gli interventi effettivamente realizzati per il contenimento del degrado del suolo e dell'erosione (terrazzamenti, copertura vegetale appropriata, ecc.). A causa della scala utilizzata e della mancanza di informazioni precise sul ripristino e la salvaguardia di tali aree, si è preferito non considerare tali aspetti.

Per quanto riguarda le aree ricreative, il calcolo dell'intensità d'uso considera il rapporto tra il numero di visitatori per anno effettivo (A) e quello sostenibile (P) per una data area. Anche in

questo caso, valgono le considerazioni fatte per le aree minerarie, poiché la scala utilizzata per lo studio non consente di individuare aree ricreative, così come intese dalla metodologia proposta da Kosmas.

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 Nazionali
- Parchi e Riserve regionali (L.R. N. 31/89)
- Vincolo idrogeologico (R.D.L. 3267/23)
- Cantieri forestali
- Siti SIC BIOITALY (Direttiva Comunitaria 92/43)

In realtà, l'indicatore considera il grado di attuazione di tali politiche, secondo il seguente schema:

Classe	Descrizione	Grado di attuazione	Indice
1	Alto	Completo: >75% dell'area sotto protezione	1.0
2	Moderato	Parziale: 25-75% dell'area sotto protezione	1.5
3	Basso	Incompleto: <25% dell'area sotto protezione	2.0

Tabella 4.5

In Sardegna, le politiche di protezione che effettivamente vengono attuate sono rappresentate dai Parchi Nazionali già istituiti e operativi, in cui vigono tutte le norme restrittive della legge istitutiva e di attuazione dei parchi. Ad oggi, solo nel Parco Nazionale dell'Asinara e nel Parco Nazionale dell'Arcipelago della Maddalena si attua una fattiva politica di salvaguardia ambientale. Pertanto, in tali aree il grado di attuazione delle politiche di protezione è alto. I cantieri forestali presentano anch'essi un livello di tutela ambientale elevato, grazie alla gestione da parte dell'Ente Foreste e al continuo monitoraggio di tali aree, non solo per le misure adottate nella prevenzione degli incendi.

Inoltre, le aree sottoposte a vincolo idrogeologico, regolamentate secondo il RDL 3267/23 e successive modifiche, presentano un medio livello di protezione, sia per la natura delle restrizioni imposte, sia per il grado di attuazione delle stesse.

I dati relativi alla cartografia di tutta la vincolistica regionale sono stati forniti dal Servizio della Pianificazione Territoriale e della Cartografia della Regione Autonoma della Sardegna - Assessorato degli Enti Locali, Finanze e Urbanistica. Tali dati sono stati opportunamente elaborati al fine di ottenere un unico tematismo in cui sono riportate le aree classificate in base al grado di attuazione delle politiche di protezione, secondo lo schema seguente:

Classe	Descrizione	Tipo di vincolo	Indice
1	Alto	Parchi nazionali, cantieri forestali	1.0
2	Moderato	Aree sottoposte a vincolo idrogeologico	1.5
3	Basso	Nessuno	2.0

Tabella 4.6

Calcolo dell'Indice di Qualità della Gestione (MQI)

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

$$\text{MQI} = (\text{intensità d'uso} \times \text{politiche di protezione})^{1/2}$$

Indice di Qualità della Gestione	Descrizione	Range
1	Alta qualità	<1.25
2	Moderata qualità	1.25-1.50
3	Bassa qualità	>1.50

Tabella 4.7

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 piani informativi:

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

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:

Valori dell'ESAI	Classe	Sottoclasse	Caratteristiche
<1.17	NON SOGGETTA	N	Aree non soggette e non sensibili
1.17-1.22	POTENZIALE	P	Aree a rischio di desertificazione qualora si verificassero condizioni climatiche estreme o drastici cambiamenti nell'uso del suolo. Si tratta di terre abbandonate gestite in modo non corretto nel passato
1.23-1.26	FRAGILE	F1	Aree limite, in cui qualsiasi alterazione degli equilibri tra risorse ambientali e attività umane può portare alla progressiva desertificazione del territorio. Ad esempio, il prolungarsi delle condizioni di siccità può portare alla riduzione della copertura vegetale e a successivi fenomeni di erosione
1.27-1.32		F2	
1.33-1.37		F3	
1.38-1.41	CRITICA	C1	Aree altamente degradate, caratterizzate da ingenti perdite di materiale sedimentario e in cui i fenomeni di erosione sono evidenti
1.42-1.53		C2	
>1.53		C3	

Tabella 5.1

La metodologia (Kosmas et al., 1999) definisce 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.

In appendice sono riportati i risultati per ciascuna classe, espressi sia in percentuale che in ettari, relativi al grado della sensibilità alla desertificazione delle 16 aree oggetto di studio e dell'intero territorio regionale (scala 1:250000)

6. RISULTATI E CONCLUSIONI

La metodologia ha consentito di individuare, per le aree oggetto di studio, la sensibilità alla desertificazione secondo una scala crescente. Lo studio del territorio e delle aree a rischio per processi di degrado del suolo e di progressiva instabilità degli ecosistemi è avvenuto attraverso la calibrazione di indicatori fisico-ambientali e di pressione antropica sull'ambiente. Questo ha permesso di considerare il suolo, il clima e la vegetazione nel complesso dei rapporti che intercorrono tra le grandezze fisiche e biologiche che li caratterizzano, considerando anche l'impatto dell'azione dell'uomo nelle aree di maggior sfruttamento per attività agro-pastorali e, viceversa, mettendo in evidenza il grado di attuazione di tutte le forme di protezione e tutela.

Un ulteriore pregio della metodologia risiede nel fatto che, anche grazie alla scala adottata e per l'immediatezza dell'approccio sviluppato, consente una rapida lettura della cartografia prodotta. La sua ampia applicazione a scala europea ne fa, inoltre, uno strumento di studio ormai consolidato e il risultato è pertanto facilmente confrontabile con studi simili realizzati o in corso di svolgimento in altre aree del bacino del Mediterraneo.

Il punto debole del modello è l'attribuzione di indici e di pesi che potrebbero essere di volta in volta criticati e discussi. Nel presente studio si è pertanto scelto di considerare il valore degli indici come riportati nella metodologia originaria di Kosmas proposta nel progetto MEDALUS, con tutti i limiti che questo comporta. Inoltre, la complessità delle grandezze trattate e la loro necessaria indicizzazione hanno portato inevitabilmente ad alcune assunzioni e astrazioni metodologiche e matematiche, riscontrabili peraltro in modelli dello stesso tipo.

Le modifiche apportate alla metodologia originaria hanno riguardato:

- l'attribuzione e la valutazione delle classi di uso del suolo ricavate dalla carta CORINE Land Cover alle categorie di vegetazione proposte dalla metodologia, con una attenta valutazione in dipendenza dell'indicatore studiato;
- i range delle classi di pendenza dei suoli;
- la valutazione dell'esposizione basata sulle classi di pendenza individuate;
- lo studio molto più approfondito della qualità del clima, attraverso un griglia regolare di celle, che per quanto in sé rappresenti una approssimazione, consente di valutare su scala regionale le variabili meteorologiche e quelle agronomiche derivate;
- la messa a punto di una più complessa metodologia per il calcolo dell'indice di aridità, che tenga conto non solo delle componenti atmosferiche del bilancio idrico, ma anche del contenuto idrico del suolo, che riveste un ruolo fondamentale nel determinare lo stato di aridità della regione e le conseguenze sulla vegetazione e sul degrado del territorio;
- il calcolo di un indice di pascolamento che, pur con tutti i limiti metodologici riguardanti il reperimento dei dati e la stima del carico di bestiame mantenibile, rappresenta un punto di riferimento per individuare le aree a pascolo dei singoli comuni eccessivamente sfruttate;

- le politiche di protezione prese in considerazione sono reali e tengono conto della effettiva tutela e salvaguardia delle aree sottoposte a vincolo, tralasciando quelle considerate tali solo sulla carta.

Il presente lavoro, primo esempio alla scala 1:100.000 e su aree così vaste in Sardegna, può rappresentare un valido contributo per successivi studi sui processi che portano alla desertificazione delle aree in ambiente mediterraneo, per la pianificazione territoriale e per la tutela delle aree con maggiore sensibilità al degrado e alla perdita di suolo e vegetazione degli ecosistemi agricoli e naturali.

In particolare, i risultati raggiunti possono consentire all'ERSAT di rendere disponibile un importante strumento di monitoraggio del fenomeno desertificazione nell'ambito degli obiettivi da raggiungere previsti dal Programma regionale per la lotta alla desertificazione.

L'utilizzo di tecniche di analisi multitemporale potrà consentire infatti un rapido aggiornamento dell'evoluzione dei processi in corso, in particolare nelle aree a maggior rischio di desertificazione.

Il SAR ha esteso l'analisi delle aree sensibili alla desertificazione a tutto il territorio regionale in scala 1:250000 ottenendo i risultati riportati nei grafici nella appendice.

Bibliografia

- Aru A., Baldaccini P., Loj G. 1989. I suoli: caratteristiche che determinano la marginalità e la loro valutazione per il pascolo. Atti del C.N.R. Progetto I.P.R.A.
- Bianco G., Canu A., D'Angelo M., De Candia A., Loj G. 1990. Metodologia integrata per la gestione dello schema di attitudine al pascolo ai fini della conservazione e difesa dei suoli in Sardegna. Atti del VII congresso nazionale dei geologi, Roma.
- Bianco G., Loj G.. 2000. Il Programma per la lotta alla siccità e alla desertificazione della Regione Sardegna nel contesto nazionale: il contributo dell'ERSAT e del SAR. Convegno regionale su: siccità: monitoraggio, mitigazione, effetti. Villasimius 21-23 settembre 2000.
- Bunte K., Poesen J. 1993. Effects of rock fragment covers on erosion and transport of non-cohesive sediment by shallow overland flow. *Water Resources Research* 29:1415-1424.
- Caboi R., Fanfani L., Loj G., Pala A. 1990. Studio di una falda idrica salina nel settore di Cuglieri. *Rivista di geologia tecnica del O.N.G.*
- Cara S., Demontis A., Di Gregorio F., Loj G., Marini A., Pistis. 1994. Metodologia d'indagine sul dissesto idrogeologico e sull'erosione del suolo in aree compromesse : il settore di Ingurto. Poster di presentazione dei lavori per il progetto Ambiente, finanziamento R.A.S-Università di Cagliari.
- Clark S.C. 1996. Mediterranean ecology and an ecological synthesis of the field sites. In: J. Brandt and J. Thornes (eds), *Mediterranean desertification and land use*, John Wiley & Sons, 271-299 pp.
- Cristini A., Loj G. 1983. Studio sull'adsorbimento dello zinco in alcuni suoli della Sardegna meridionale. *Atti ist. geoped. e geol.appl.IV* 1983, pg.115-130, Sassari.
- D'Antonio A., Tosco D., Aramini G., Bellino F., Guaitoli F., Di Lisa G.A., Loj G., Pumo A., Reale T., Viviano L. 1999. "Aspetti della sensibilità e vulnerabilità dei suoli in Italia meridionale e insulare", Firenze 18 - 20 ottobre 1999.
- Delogu G., Loj G., Marquetti R., Marini A. 1988. Dati landsat TM: confronto di metodologie per l'elaborazione di indici di vegetazione in Sardegna. Atti del II Convegno A.I.T.1988, Bolzano.
- Dessena M., Loj G., Zilioli R. 1988. Hydrological features in the Cedrino river basin(Sardinia). Atti del XIII corso internazionale U.N.-F.A.O.-UNESCO di remote sensing 1988, Roma-Sassari, Biblioteca F.A.O.
- Di Gregorio F., Loj G., Marini A. 1988. Applicazioni di metodi diversi di telerilevamento per lo studio delle zone umide di sale porcus e is benas. Atti del III Convegno Internazionale di studi geografici, 1988 Sassari.
- FAO-UNESCO. 1989. International Soil Reference and Information Centre. *Soil Map of the World. Revised legend. World Soil Resources Report n. 60.* Roma.
- Francis C.F., Thornes J.B. 1990. Runhoff Hydrographs from three Mediterranean vegetation cover types. In: *Vegetation and erosion, processes and environments.* John Wiley & Sons, Chichester, 333-352 pp.
- Gruppo di lavoro Ersat-R.A.S.-Università di Cagliari. 1991. Direttive per l'attitudine dei suoli al pascolo ed all'uso agricolo. Atti del convegno su la difesa del suolo, ERSAT, Cala Gonone, 1991.
- Indiati R., Loj G. 1998. Use of alternative soil phosphorus test for improving environmental management of soil phosphate. *Rivista di agricoltura mediterranea*, vol.128, 298-306 (1998).
- Indiati R., Figliola A., Ceteroni L., Loj G., Farina R.. 1998. Comparison of chemical extractants and phosphorus-sink methodologies in assessing available phosphate in sardinian pasture soils. *Rivista di agricoltura mediterranea*, vol.128, 255-265 Roma Aprile 1998.

- ISTAT 2001. V Censimento Nazionale dell'Agricoltura. Database on line: sezione 5-Consistenza degli allevamenti.
- 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., 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., 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.
- Loj G., Scampuddu S. 1998. Sperimentazione della legenda CORINE-LAND COVER in scala 1:25.000, in due aree campione della Sardegna. Convegno di presentazione del progetto CORINE, Rivista del Centro Interregionale di Cartografia, Bologna 20 Ottobre 1998.
- Madrau S., Loj G., Baldaccini, P. 1999. A model for evaluating the suitability of grazing land to the sardinian soils. Internal publication of ERSAT and MEDALUS project, Cagliari. (Modello per la valutazione dell'attitudine al miglioramento dei pascoli dei suoli della Sardegna. ERSAT-MEDALUS, Sassari, Stampa in proprio).
- Ministero dell'Ambiente. 2001. Relazione Generale sullo stato dell'ambiente in Italia, capitolo sul suolo.
- Mulè P., Dessì G., Deroma M., Madrau S. 2002. Il degrado dei suoli per calpestio da sovrappascolamento. Un esempio in Sardegna. et al. Estimo e territorio, n°2, febbraio 2002.
- Pittalis D. 2003. Applicazione di una metodologia per l'individuazione di aree sensibili alla desertificazione nel territorio comunale di Sassari mediante elaborazione GIS. Tesi di laurea, A.A. 2001-2002. Università degli Studi di Sassari – Facoltà di Agraria.
- Poesen J., Torri D., Bunte K. 1994. Effects of rock fragments in soil erosion by water under different spatial scales: a review. Catena, 23: 141-166.
- Paolillo P.L. Problematiche del parametro suolo. 2002. Franco Angeli Ed.- capitolo Sardegna.
- Reed S.M., Maidment D.R, and Patoux J. 1997. Spatial Water Balance of Texas. CRWR Online Report 97-1.
- United States Department of Agriculture. 1999. National Resources Conservation Service. Soil taxonomy. Agriculture Handbook n. 436, 2nd edition, Washington D.C.

APPENDICE

Tabelle riassuntive dei risultati ottenuti per i fogli in scala 1:100000

		<i>n° foglio 166</i>	<i>n° foglio 179</i>	<i>n° foglio 180</i>	<i>n° foglio 181</i>
classe di sensibilità		ISOLA ASINARA	PORTO TORRES	SASSARI	TEMPIO PAUSANIA
non soggette	ha	0	0	186	3038
	%	0	0	0,17	1,95
potenziali	ha	0	43	1051	11016
	%	0	0,08	0,95	7,06
fragili F1	ha	241	25	2550	17741
	%	4,78	0,05	2,31	11,38
fragili F2	ha	1316	556	9371	37006
	%	26,05	1,08	8,49	23,73
fragili F3	ha	1305	440	17775	30917
	%	25,83	0,86	16,11	19,82
critiche C1	ha	588	3395	9852	20042
	%	11,65	6,62	8,93	12,85
critiche C2	ha	554	23890	50088	24933
	%	10,96	46,58	45,4	15,99
critiche C3	ha	192	19315	15129	5180
	%	3,79	37,66	13,71	3,32
non classificate	ha	855	3624	4334	6088
	%	16,94	7,07	3,93	3,9

TABELLA A

		<i>n° foglio 192</i>	<i>n° foglio 193</i>	<i>n° fogli 205-206</i>	<i>n° foglio 207</i>
classe di sensibilità		ALGHERO	BONORVA	CAPOMANNU-MACOMER	NUORO
non soggette	ha	290	55	2989	2521
	%	0,7	0,03	1,92	1,6
potenziali	ha	776	1220	7977	3215
	%	1,86	0,78	5,13	8,39
fragili F1	ha	2630	6224	18604	19399
	%	6,31	3,97	11,97	12,31
fragili F2	ha	5532	24588	34972	38595
	%	13,27	15,68	22,51	24,5
fragili F3	ha	4818	30085	39706	23625
	%	11,55	19,19	25,55	15,00
critiche C1	ha	5847	19710	17095	15541
	%	14,02	12,57	11	9,86
critiche C2	ha	13211	58638	23852	31502
	%	31,68	37,41	15,35	19,99
critiche C3	ha	6779	13675	5283	8300
	%	16,25	8,72	3,4	5,27
non classificate	ha	1819	2571	4918	4849
	%	4,36	1,64	3,16	3,08

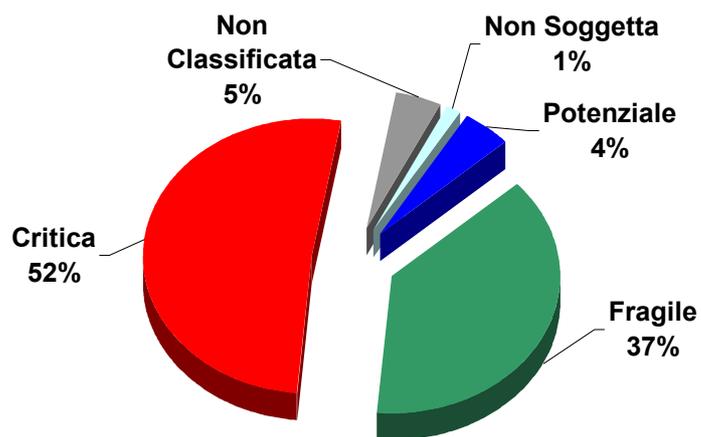
TABELLA B

		<i>n° foglio 208</i>	<i>n° foglio 218</i>	<i>n° foglio 219</i>	<i>n° fogli 224-225</i>
classe di sensibilità		DORGALI	ISILI	LANUSEI	CAPO PECORA-GUSPINI
non soggette	ha	385	2688	1330	554
	%	0,57	1,7	1,84	0,33
potenziali	ha	2118	12749	2222	2304
	%	3,12	8,05	3,08	1,37
fragili F1	ha	4116	19730	4621	5094
	%	6,06	12,46	6,4	3,03
fragili F2	ha	15458	35192	10278	15429
	%	22,77	22,23	14,23	9,17
fragili F3	ha	13050	25448	9991	15480
	%	19,22	16,08	13,83	9,2
critiche C1	ha	10512	19256	8740	15850
	%	15,48	12,16	12,1	9,42
critiche C2	ha	15600	31183	18704	76730
	%	22,97	19,7	25,9	45,61
critiche C3	ha	3085	8735	13964	32582
	%	4,54	5,56	19,34	19,37
non classificate	ha	3578	3263	2367	4198
	%	5,27	2,06	3,28	2,5

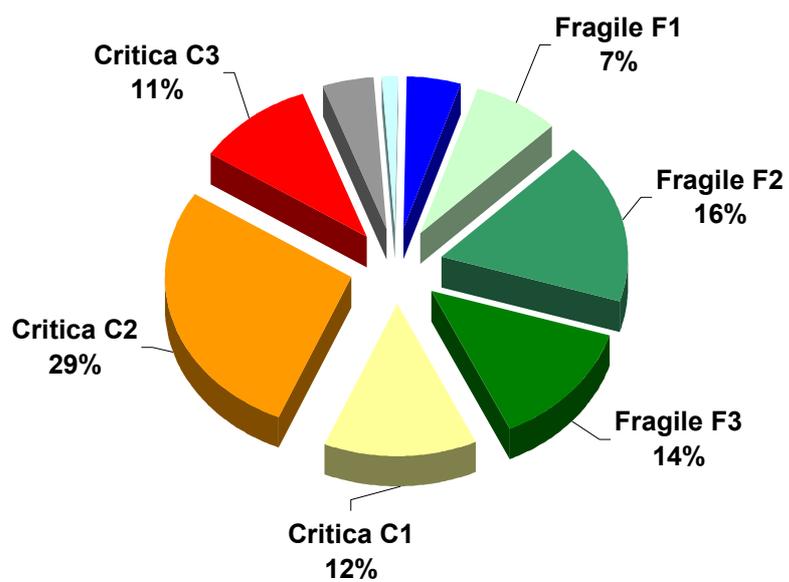
TABELLA C

		<i>n° foglio 226</i>	<i>n° foglio 227</i>	<i>n° foglio 232</i>	<i>n° foglio 233</i>
classe di sensibilità		MANDAS	MURAVERA	ISOLA DI S. PIETRO	CARBONIA
non soggette	ha	1128	127	156	491
	%	0,71	0,22	0,66	0,32
potenziali	ha	3922	875	20	6617
	%	2,47	1,51	0,08	4,35
fragili F1	ha	10827	2006	138	6882
	%	6,81	3,46	0,58	4,52
fragili F2	ha	23521	9775	912	22191
	%	14,79	16,86	3,83	14,58
fragili F3	ha	19598	7951	915	25083
	%	12,32	13,71	3,85	16,48
critiche C1	ha	15947	11221	3521	16784
	%	10,03	19,35	14,78	11,02
critiche C2	ha	47391	17059	9305	48810
	%	29,8	29,41	39,07	32,06
critiche C3	ha	31563	7998	6328	14918
	%	19,85	13,45	26,57	9,8
non classificate	ha	5122	1184	2524	10468
	%	3,22	2,04	10,6	6,88

TABELLA D



Suddivisione del territorio regionale in classi di sensibilità alla desertificazione



Suddivisione delle aree ESAs fragili e critiche nelle rispettive sottoclassi