

CRA - CONSIGLIO PER LA RICERCA E LA SPERIMENTAZIONE IN AGRICOLTURA
ISTITUTO SPERIMENTALE PER LO STUDIO E LA DIFESA DEL SUOLO
CENTRO NAZIONALE DI CARTOGRAFIA PEDOLOGICA



MINISTERO PER LE POLITICHE AGRICOLE E FORESTALI
NEA - ISTITUTO NAZIONALE DI ECONOMIA AGRARIA



PROGETTO

Atlante Nazionale delle aree a rischio di desertificazione

Relazione finale
(versione digitale)

PREMESSA.....	5
1. INTRODUZIONE.....	7
1.1 DESERTIFICAZIONE E DEGRADAZIONE DEL SUOLO	7
1.2 CONOSCENZE PEDOLOGICHE	8
1.3 OBIETTIVI PROGETTUALI.....	9
2. MATERIALI E METODI.....	10
2.1 IMPOSTAZIONE CONCETTUALE E MODELLO DI RIFERIMENTO	10
2.2 AREE STERILI, VULNERABILI E SENSIBILI.....	14
2.3 SCELTA DEGLI INDICATORI E INDICI DI STATO, IMPATTO E RISPOSTA.....	16
2.4 DESCRIZIONE DELLE BANCHE DATI UTILIZZATE	18
2.4.1 <i>Banche dati pedologiche</i>	18
2.4.1.1 La banca dati delle osservazioni puntuali	19
2.4.1.1.1 Profondità radicabile	20
2.4.1.1.2 Fenomeni di erosione in atto segnalati dai rilevatori	20
2.4.1.1.3 Capacità di ritenuta idrica (AWC).....	20
2.4.1.2 Gerarchia dei pedopaesaggi.....	20
2.4.1.3 Regioni pedologiche (soil regions).....	22
2.4.1.4 Sistemi di terre.....	22
2.4.1.5 Sottosistemi di terre	23
2.4.1.5.1 Metodologia.....	23
2.4.1.5.2 Legende	24
2.4.1.5.3 Materiali	24
2.4.1.5.4 Approssimazione geografica delle componenti territoriali	25
2.4.1.6 Spazializzazione dei dati pedologici puntuali	26
2.4.2 <i>Banche dati climatiche</i>	26
2.4.2.1 I dati climatici.....	26
2.4.2.2 Indice di aridità.....	28
2.4.2.2.1 Calcolo dell'evapotraspirazione	28
2.4.2.2.2 Spazializzazione dell'indice	30
2.4.2.3 Aggressività climatica.....	30
2.4.3 <i>Banche dati pedoclimatiche</i>	31
2.4.4 <i>Banche dati di uso del suolo</i>	31
2.4.4.1 Metodologia.....	32
2.4.4.2 Prima fase: Individuazione dell'area su cui effettuare i rilievi - il CASI 2	32
2.4.4.3 Seconda fase: l'approfondimento dell'analisi – il CASI 3	32
2.4.4.3.1 Definizione unità spaziale di mappatura (poligoni) e unità minima cartografabile	33
2.4.4.3.2 Il sistema di classificazione e la legenda	33
2.4.4.3.3 Sistema di coordinate.....	33
2.4.4.3.4 Le immagini satellitari.....	34
2.4.4.3.5 Materiali ancillari	35
2.4.4.3.6 Interpretazione della copertura estiva sulla base delle ortofoto e immagini in falso colore.....	37
2.4.4.3.7 Indagini di campagna.....	38
2.4.4.3.8 Attribuzione della classe primaverile - autunnale sulla base geometrica della copertura estiva	38
2.4.4.3.9 Sintesi delle tre coperture per stagione irrigua e classi di copertura	38
2.4.4.3.10 Data base sui metadata	38
2.4.4.3.11 Collaudo in corso d'opera e validazione finale.....	38
2.4.4.4 Integrazione della banca dati CASI 3 con le esigenze del progetto Atlante Desertificazione	40
2.4.5 <i>Banche dati delle misure agroambientali</i>	42
2.4.6 <i>Banche dati sul pascolamento</i>	42
2.4.6.1 Composizione floristica e produzione dei pascoli.....	43
2.4.6.2 Numero di capi presenti sulle aree a pascolo	45
2.4.6.3 Periodo di permanenza dei capi sui pascoli e loro fabbisogno alimentare	45
2.4.7 <i>Banche dati degli incendi forestali</i>	46
2.4.8 <i>Banche dati delle aree protette</i>	46
2.4.9 <i>Banche dati delle immagini satellitari</i>	47
2.4.10 <i>Altre banche dati</i>	48
2.5 INDIVIDUAZIONE DELL'AREA DI STUDIO.....	48
2.6 ELABORAZIONE DEGLI INDICATORI E DEGLI INDICI DI STATO, IMPATTO E RISPOSTA	49
2.6.1 <i>Sistema di degradazione del suolo "erosione idrica"</i>	50
2.6.1.1 Suoli sottili su forti pendenze	50
2.6.1.1.1 Indicatore di stato: suoli sottili	50
2.6.1.1.2 Indicatore di stato: forti pendenze	50
2.6.1.1.3 Modello di calcolo dell'indice d'impatto.....	50
2.6.1.2 Presenza di fenomeni di erosione dalla banca dati dei suoli	50
2.6.1.2.1 Indicatore di stato: presenza di fenomeni di erosione dalla banca dati dei suoli.....	50

2.6.1.2.2	Modello di calcolo dell'indice d'impatto.....	51
2.6.1.3	Analisi dell'indice di vegetazione.....	51
2.6.1.3.1	Indicatore di stato: analisi NDVI.....	51
2.6.1.3.2	Modello di calcolo dell'indice di impatto.....	53
2.6.1.4	Pressione di pascolamento.....	55
2.6.1.4.1	Indicatore di stato: carico di pascolo.....	55
2.6.1.4.2	Modello di calcolo dell'indice d'impatto.....	55
2.6.1.5	Misure agroambientali.....	57
2.6.1.5.1	Indicatore di stato: misure agroambientali.....	57
2.6.1.5.2	Modello di calcolo dell'indice di risposta.....	58
2.6.1.6	Aree protette.....	59
2.6.1.6.1	Indicatore di stato: aree protette.....	59
2.6.1.6.2	Modello di calcolo dell'indice di risposta.....	59
2.6.1.7	Aree incendiate.....	59
2.6.1.7.1	Indicatore di stato: aree incendiate.....	59
2.6.1.7.2	Modello di calcolo dell'indice d'impatto.....	60
2.6.2	<i>Sistema di degradazione del suolo "deposizione"</i>	60
2.6.2.1	Effusioni laviche recenti.....	60
2.6.2.1.1	Indicatore di stato: effusioni laviche recenti.....	60
2.6.2.1.2	Indicatore di stato: indice NDVI.....	60
2.6.2.1.3	Modello di calcolo dell'indice d'impatto.....	60
2.6.3	<i>Sistema di degradazione del suolo "urbanizzazione"</i>	61
2.6.3.1	Aree urbane e infrastrutture principali.....	61
2.6.3.1.1	Indicatore di stato: aree urbane.....	61
2.6.3.1.2	Indicatore di stato: strade e ferrovie.....	61
2.6.3.1.3	Modello di calcolo dell'indice d'impatto.....	61
2.6.4	<i>Sistema di degradazione del suolo "salinizzazione"</i>	61
2.6.4.1	Aree con falde idriche potenzialmente saline.....	61
2.6.4.1.1	Indicatore di stato: quota.....	61
2.6.4.1.2	Indicatore di stato: distanza dal mare.....	61
2.6.4.1.3	Indicatore di stato: litotipi salini.....	61
2.6.4.1.4	Modello di calcolo dell'indice d'impatto.....	62
2.6.5	<i>Sistema di degradazione del suolo "siccità"</i>	62
2.6.5.1	Numero di giorni di secco.....	62
2.6.5.1.1	Indicatore di stato: numero medio annuo di giorni in cui il suolo è secco.....	62
2.6.5.1.2	Modello di calcolo dell'indice di pressione.....	62
2.6.5.2	Aree irrigue.....	63
2.6.5.2.1	Indicatore di risposta: aree irrigue.....	63
2.6.5.2.2	Modello di calcolo dell'indice di risposta.....	63
2.7	VALIDAZIONE: LE ESPERIENZE REGIONALI E IL FOTOALTANTE.....	63
3.	L'ATLANTE NAZIONALE DELLE AREE A RISCHIO DI DESERTIFICAZIONE	64
3.1.	DELIMITAZIONE DEL TERRITORIO ITALIANO A RISCHIO POTENZIALE DI DESERTIFICAZIONE SU BASE CLIMATICA E PEDOClimATICA (AREA DI STUDIO).....	66
3.2	INDICI D'IMPATTO E DI RISPOSTA: QUADRI DI SINTESI E ATLANTI REGIONALI.....	67
3.2.1	<i>Quadri di sintesi</i>	67
3.2.2	<i>Atlanti regionali del rischio di desertificazione</i>	68
3.2.2.1	Sardegna.....	68
3.2.2.2	Sicilia.....	69
3.2.2.3	Puglia.....	70
3.2.2.4	Calabria.....	71
3.2.2.5	Basilicata.....	72
3.2.2.6	Molise.....	73
3.2.2.7	Campania.....	74
3.2.2.8	Lazio.....	75
3.2.2.9	Abruzzo.....	76
3.2.2.10	Toscana.....	77
3.2.2.11	Umbria.....	78
3.2.2.12	Marche.....	79
3.2.3	<i>Aggressività climatica e indice di aridità</i>	80
4.	LE ESPERIENZE REGIONALI: STATO DELL'ARTE E STRATEGIE D'INTERVENTO	81
4.1	SARDEGNA.....	82
4.1.1	<i>La carta delle aree sensibili alla desertificazione in Sardegna</i>	82
4.1.2	<i>Attività con il Comitato Nazionale per la Lotta alla Siccità e/o alla Desertificazione (CNLSD)</i>	88
4.1.3	<i>La partecipazione ai programmi d'iniziativa comunitaria Interreg III B Medocc: Desertnet</i>	88
4.1.4	<i>La protezione del suolo</i>	89

4.1.5 <i>Conclusioni</i>	90
4.2 SICILIA	91
4.3 CALABRIA	96
4.4 PUGLIA.....	99
5. CONCLUSIONI.....	103
5.1 INDICATORI E INDICI DI RISCHIO DI DEGRADAZIONE DEL SUOLO.....	103
5.2 PROSPETTIVE METODOLOGICHE E DI SVILUPPO DELLA RICERCA.....	109
BIBLIOGRAFIA.....	111

Premessa

Il Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio ha finanziato con atto del 28.12.2001 l'Istituto Sperimentale per lo Studio e la Difesa del Suolo di Firenze per la "Predisposizione di Atlante Nazionale delle aree a rischio di desertificazione". Il MATT considera tale Atlante strumento propedeutico alla corretta attuazione del Piano Nazionale per la Lotta alla Siccità e Desertificazione, adottato dallo Stato Italiano in attuazione della Convenzione delle Nazioni Unite per la Lotta alla Siccità ed alla Desertificazione. Nel sopraccitato atto è prevista la partecipazione dell'Istituto Nazionale di Economia Agraria nei suoi specifici settori di competenza.

Il programma di ricerca è stato finanziato con un importo di 205.700 euro IVA compresa, per un'attività prevista di dodici mesi, prorogata in seguito fino al 31 gennaio 2005. Il responsabile della convenzione è il dott. Marcello Pagliai, direttore dell'Istituto Sperimentale per lo Studio e la Difesa del Suolo. Il responsabile scientifico è il dott. Edoardo A.C. Costantini, primo ricercatore dell'ISSDS e responsabile del Centro Nazionale di Cartografia Pedologica.

Oltre all'INEA, l'ISSDS ha coinvolto nelle attività progettuali, senza convenzione a titolo economico, i referenti regionali per la pedologia e la lotta alla desertificazione delle Regioni Sardegna, Sicilia, Calabria e Puglia. Tale coinvolgimento ha avuto lo scopo di confrontare le metodologie d'indagine proposte con le esperienze regionali e di validare gli elaborati prodotti. L'ISSDS si è avvalso altresì della collaborazione di liberi professionisti per alcune attività specialistiche.

L'ammontare del finanziamento e i tempi previsti non hanno consentito di strutturare un progetto con importanti rilievi a terra e indagini dettagliate sui processi di desertificazione. Si era poi consapevoli che in Italia sull'argomento della cartografia del rischio di desertificazione sono state realizzate, o sono in corso di realizzazione, numerose esperienze a livello regionale, nazionale e continentale che seguono essenzialmente l'approccio MEDALUS, pur con modifiche ed adattamenti di rilievo. Si è dunque deciso di impostare il progetto di ricerca utilizzando le banche dati esistenti, l'esperienza dei partecipanti e un approccio di tipo innovativo.

La metodologia si basa sul concetto di area desertificata intesa come area a sterilità funzionale agro-silvo-pastorale e sulle evidenze della realtà fattuale ricavabili dalle banche dati esistenti, da cui elaborare un atlante di carte degli indicatori e indici di sensibilità e di vulnerabilità al rischio di sterilità funzionale.

In questo modo il contributo fornito, pur con i limiti imposti dall'incompletezza delle banche dati disponibili, non si è sovrapposto ad altre analoghe attività, ma ha fornito un contributo originale che ha messo in luce aspetti altrimenti poco o per nulla considerati.

Nei capitoli che seguono sono descritti i principi metodologici a cui si è fatto riferimento, i materiali e i metodi utilizzati, le elaborazioni cartografiche prodotte, il catalogo delle situazioni caposaldo di verifica a terra e una panoramica delle esperienze regionali realizzate in altri ambiti progettuali, con indicazioni delle strategie operative d'intervento proposte.

Tabella 1- Partecipanti al gruppo di lavoro

Istituto Sperimentale per lo Studio e la Difesa del Suolo

Roberto Barbetti, assegnista di ricerca

Edoardo A.C. Costantini, primo ricercatore, coordinatore scientifico del progetto

Mario Finioia, tecnico informatico

Giovanni L'Abate, assegnista di ricerca

Simona Magini, assegnista di ricerca

Rosario Napoli, ricercatore

Ferdinando Urbano, assegnista di ricerca

Istituto Nazionale di Economia Agraria

Guido Bonati, dirigente di ricerca

Andrea Fais, ricercatore

Pasquale Nino, ricercatore

Fabrizio L. Tascone, collaboratore

Regione Sardegna

Giosuè Loj, referente regionale pedologia e lotta alla desertificazione

Regione Sicilia

Marco Perciabosco, referente regionale pedologia e lotta alla desertificazione

Regione Calabria

Giovanni Aramini, referente regionale pedologia

Regione Puglia

Franco Bellino, referente regionale pedologia

Liberi professionisti

Michele Bocci, Luca Salvestrini, Siena

Massimo Paolanti, Gabriele Leoni, Rosa Riviuccio, Roma

Biagio Rastelli, Roma

1. Introduzione

1.1 Desertificazione e degradazione del suolo

Il concetto di desertificazione si è progressivamente evoluto nel corso degli anni nel tentativo di definire un processo che, seppur caratterizzato da cause locali, sta sempre più assumendo la connotazione di un problema globale. Al termine desertificazione è associato nell'immaginario collettivo il processo di espansione dei deserti sabbiosi. Quest'immagine però non corrisponde alla complessità dei fenomeni di degrado del territorio in atto in Africa o altrove. Per questo motivo la desertificazione è stata definita dalla United Nations Convention to Combat Desertification (UNCCD) come "degrado delle terre nelle aree aride, semi-aride e sub-umide secche, attribuibile a varie cause, fra le quali variazioni climatiche ed attività umane" (<http://www.unccd.int>). La Convenzione ha scelto di adottare una definizione di desertificazione che circoscrive il suo ambito di intervento territoriale in funzione delle caratteristiche climatiche ed introduce esplicitamente fra le cause del fenomeno, oltre all'azione dell'uomo, anche le variazioni climatiche.



Figura 1- Immagine satellitare del bacino del Mediterraneo, dalla quale è possibile riconoscere le aree desertiche e quelle aride, semi aride e sub umide secche. Per l'Italia queste sembrano interessare essenzialmente le regioni Sardegna, Sicilia, Puglia e parti della Basilicata e della Calabria, con limitate e più incerte attribuzioni per alcune parti del centro e sud Italia.

La desertificazione ed il degrado delle terre interessano con intensità ed estensione diverse i Paesi europei che si affacciano sul bacino del Mediterraneo. In particolare, la desertificazione interessa le aree dell'Italia centro-meridionale ed insulare esposte a stress di natura climatica ed

alla pressione, spesso non sostenibile, delle attività umane sull'ambiente. Infatti, le caratteristiche ambientali e socio-economiche peculiari della regione Nord Mediterranea a cui l'Italia appartiene sono caratterizzate da:

- a) condizioni climatiche semi-aride che colpiscono vaste distese, siccità stagionali, grande variabilità del regime pluviometrico e piogge improvvise e molto violente;
- b) suoli poveri e sensibili all'erosione, soggetti alla formazione di croste superficiali;
- c) rilievi eterogenei con forti pendii e paesaggi molto variati;
- d) perdite importanti della copertura forestale dovute ad incendi;
- e) crisi dell'agricoltura tradizionale, caratterizzata dall'abbandono delle terre e dal deterioramento delle strutture di protezione del suolo e dell'acqua;
- f) sfruttamento non sostenibile delle risorse idriche che provoca gravi danni all'ambiente, compreso l'inquinamento chimico, la salinizzazione e l'esaurimento delle falde idriche;
- g) concentrazione dell'attività economica nelle zone costiere imputabile allo sviluppo dell'urbanizzazione, delle attività industriali, al turismo e all'agricoltura irrigua.

Le aree soggette alla desertificazione sono caratterizzate dalla presenza di ecosistemi fragili dal punto di vista ecologico, molto sensibili ad incontrollati sfruttamenti delle risorse idriche e hanno bisogno di interventi specifici per la conservazione dei suoli (Aru, 2002). In queste aree sono pertanto di grande attualità le questioni legate ad uno sviluppo sostenibile, ovvero uno sviluppo socio-economico che possa essere raggiunto mediante una gestione sostenibile delle risorse naturali.

Il concetto di degradazione delle terre, che si relaziona alla diminuzione di una o più qualità del suolo, deve comunque essere distinto da quello di desertificazione, che è un genere particolare di degradazione delle terre. La desertificazione implica la perdita irreversibile o difficilmente reversibile della possibilità di una produzione agricola e forestale economicamente o ecologicamente sostenibile. Un'area desertificata potrebbe essere coltivata, ma l'input economico e sociale necessario sarebbe così alto che difficilmente potrebbe essere messo in pratica. Essa è caratterizzata quindi da "sterilità funzionale". Il livello di input economico e sociale a cui corrisponde l'abbandono delle terre può variare da Paese a Paese, secondo il livello di sviluppo economico e la consapevolezza ambientale della popolazione. Una valutazione adeguata delle aree desertificate dovrebbe quindi essere fondata su un inventario di situazioni di riferimento, che mostri chiaramente le condizioni e i processi di desertificazione in corso.

Facendo riferimento ad un sistema di valutazione molto conosciuto ed utilizzato nei paesi sviluppati, quello della "capacità d'uso delle terre" (Land Capability, Klingebiel e Montgomery, 1961), i suoli con sterilità funzionale appartengono all'ultima classe, l'ottava, sono cioè le terre che vengono lasciate incolte e utilizzate soltanto per scopi ecologici.

Carte del rischio di desertificazione in Italia sono già state realizzate in tempi e a scale diverse, dalla globale (Eswaran and Reich, 1998) e continentale (DISMED, 2003), alla nazionale (Comitato nazionale per la lotta contro la desertificazione, 1998) e regionale (UNCCD-CRIC, 2002). Negli ultimi due casi è stato usato l'approccio MEDALUS (Mediterranean Desertification And Land Use, Kosmas et al., 1999). In esse sono stati combinati in un unico indice attributi diversi riguardanti il clima, il suolo, la vegetazione e gli aspetti socio-economici, per stimare le pressioni agenti sul territorio e lo stato del suolo e della vegetazione. I risultati sono molto diversi in funzione delle banche dati e conoscenze utilizzate, più ancora che dell'approccio metodologico scelto.

1.2 Conoscenze pedologiche

E' evidente che la lotta alla desertificazione, così come la difesa dell'ambiente, si attua attraverso il corretto uso del suolo. Per questo è necessaria un'adeguata conoscenza di tale

risorsa, ma tali conoscenze sono purtroppo carenti in Italia ove manca, ad esempio, un servizio del suolo nazionale.

Attualmente, nell'ambito del Programma Interregionale "Agricoltura e Qualità" Misura 5 "Pedologia", le Regioni a statuto ordinario hanno ottenuto le risorse finanziarie per la realizzazione della Carta dei Suoli d'Italia in scala 1:250.000. In questo ambito l'Istituto Sperimentale per lo Studio e la Difesa del Suolo ha coordinato il progetto "Metodologie Pedologiche" al fine di uniformare i criteri per la realizzazione di tale Carta dei suoli nazionale, e ha realizzato un Centro Nazionale di Cartografia Pedologica presso la Sede Centrale di Firenze, dove vengono raccolti ed armonizzati i dati pedologici puntuali e cartografici al fine di produrre elaborazioni a livello nazionale.

Questa è sicuramente una base ottimale per individuare le aree più suscettibili al rischio di desertificazione e per realizzare una cartografia nazionale delle aree soggette a tale fenomeno.

1.3 Obiettivi progettuali

Durante l'anno 2003, due istituti di ricerca del Ministero delle Politiche Agricole e Forestali, l'Istituto Sperimentale per lo Studio e la Difesa del Suolo (ISSDS) e l'Istituto Nazionale di Economia Agraria (INEA), sono stati incaricati dal Ministero dell'Ambiente della preparazione di un Atlante del rischio di desertificazione in Italia alla scala di riconoscimento (scale di riferimento 1:100.000 - 1.250.000). La richiesta del MATT era quella di un Atlante, non di una singola carta. Tradotto in termini informatici questo significa una serie di banche dati a livello nazionale per alcuni indici e indicatori utili a stimare i rischi di desertificazione, quindi non un'analisi dei processi né un indicatore di sintesi, ma una fotografia dello stato dell'ambiente in relazione al fenomeno della desertificazione.

Un altro punto di partenza del progetto è stato quello di valorizzare le banche dati di cui si avevano maggiori informazioni ed esperienze, quindi quella pedologica per l'ISSDS, e quelle dell'uso del suolo e delle politiche agro-ambientali per l'INEA. Per l'uso del suolo e per le politiche agro-ambientali è stato possibile realizzare una copertura del territorio nazionale vasta e completa. Per i suoli i dati utilizzati, ancorché numerosi (la banca dati pedologica del Centro Nazionale di Cartografia Pedologica è una delle più numerose al mondo) non sono omogeneamente distribuiti sul territorio nazionale, lasciando scoperte circa il 20% delle aree di interesse.

Altre banche dati di grande rilevanza, quale quella sugli incendi forestali, ad esempio, sono risultate non complete, o non omogenee per il territorio nazionale, oppure di difficile reperimento o non disponibili, o realizzate a scale diverse, oppure con metodologie non standardizzate.

E' da sottolineare che le cartografie realizzate, pur se mostrano un dettaglio in qualche caso notevole, sono sempre relative ad una indagine effettuata nel complesso a scala di riconoscimento, che ha bisogno quindi di una validazione locale.

In questo senso è stato predisposto un catalogo fotografico di situazioni di aree desertificate, sensibili e vulnerabili, che potrà fornire utili elementi di giudizio sulle relazioni causa - effetto dei diversi processi di desertificazione agenti sul territorio.

2. Materiali e Metodi

2.1 Impostazione concettuale e modello di riferimento

Nell'impostare il progetto, abbiamo ritenuto che anche per l'Italia valesse quanto espresso da Middleton e Thomas (1997) per molti Paesi, e cioè che le banche dati disponibili sono ancora inadeguate a fornire una informazione realistica sull'estensione e severità del processo di desertificazione. Ciò significa che, volendo seguire una metodologia fondamentalmente deduttiva, cioè basata sulle evidenze fattuali, era preferibile concentrarsi sull'analisi dello stato dell'ambiente, più che dei processi. Da qui la definizione di area desertificata come area a sterilità funzionale agro-silvo-pastorale in ambiente arido, semiarido o subumido secco, concetto che non entra nel merito di stabilire se la sterilità funzionale è stata causata da un processo naturale o antropico, attuale o passato. D'altra parte, la richiesta era proprio quella di fornire al Ministero dell'Ambiente una prima versione di banche dati organizzate a livello nazionale per alcuni indicatori utili a stimare i rischi di desertificazione, non una analisi dei processi.

La scelta del modello metodologico di riferimento non è stata facile. Come scrivono Eswaran e Reich (1998), se da una parte vi è una adeguata comprensione delle cause ed effetti dei processi che conducono alla desertificazione, non è ancora possibile distinguere chiaramente i processi dovuti a pressioni diverse, in particolare naturali o antropiche. I cambiamenti climatici, ad esempio, sono allo stesso tempo causa ed effetto della degradazione del suolo. Anche nel forum FAO recentemente svolto su web circa il "soil degradation assessment" (SODA, 2004) è chiaramente emerso che molti indicatori possono essere considerati al tempo stesso determinanti (driving forces) o pressioni, impatti o risposte.

A differenza dell'approccio MEDALUS, la metodologia non ha utilizzato per la valutazione un criterio esclusivamente modellistico, ma si sono cercate le evidenze della realtà fattuale che testimoniano dell'avvenuta sterilità funzionale, o dei processi che possono portare ad una più o meno imminente degradazione irreversibile. A differenza delle precedenti carte di rischio, nell'Atlante sono rappresentati singoli indicatori di stato e indici di pressione e risposta che individuano, a scala nazionale, le aree attualmente a sterilità funzionale e quelle che, per i processi climatici ed antropici in corso, sono maggiormente a rischio di sterilità.

La metodologia di valutazione adottata si basa sulla struttura d'analisi dei processi DPSIR (determinanti, pressioni, stato, impatto, risposta), che è stata di recente applicata anche in Italia per i processi degradazione del suolo che possono condurre alla desertificazione (Vacca e Marrone, 2004). Nel modello DPSIR (tab. 2), le terre a sterilità funzionale, vulnerabili o sensibili, sono considerate indici d'impatto delle pressioni sull'ambiente. I determinanti della sterilità funzionale sono le caratteristiche ambientali che regolano le pressioni, vale a dire il clima, l'agricoltura, la geologia e geomorfologia, e la pressione umana nelle sue diverse forme (Enne e Zucca, 2000). Gli indicatori di stato esprimono lo stato di avanzamento nei processi di desertificazione, come erosione del suolo, contaminazione, salinizzazione e siccità (Dazzi, 2002). Gli indici di risposta sono le misure agroambientali, di pianificazione territoriale e di gestione irrigua, che possono mitigare il rischio di degradazione del suolo e riduzione della sua funzionalità.

Sono stati considerati cinque sistemi di degradazione del suolo che possono portare alla sterilità funzionale agricola e forestale: l'erosione del suolo, la copertura per deposizione, la salinizzazione, l'urbanizzazione, la siccità.

Non è stato trattato un importante processo, l'inquinamento, a causa della scarsità di informazioni disponibili. Sono state invece considerate le perdite di suolo per deposizioni laviche recenti e alluvioni, anche se risultano interessare molto marginalmente l'area in studio.

L'urbanizzazione infine è stata valutata come un processo di desertificazione, in quanto induce la perdita irreversibile della funzionalità agricola e forestale, anche se il suolo acquista altre funzioni (Aru, 2001).

Tabella 2a - Il modello DPSIR e gli indici di rischio di desertificazione utilizzati.

Sistema di degradazione del suolo: siccità					
DETERMINANTI	PRESSIONI	INDICATORI DI STATO		INDICI D'IMPATTO	INDICI DI RISPOSTA
Clima	Precipitazione e evapotraspirazione	Regioni climatiche	Terre a siccità potenziale (scala nazionale)		Terre irrigate
		Indice di aridità	Terre a siccità potenziale (scala regionale)		
		Regimi di temperature e umidità del suolo			
		Numero medio annuale di giorni in cui il suolo è secco			
Sistema di degradazione del suolo: sigillamento (soil sealing) per urbanizzazione					
DETERMINANTI	PRESSIONI	INDICATORI DI STATO		INDICI D'IMPATTO	INDICI DI RISPOSTA
Incremento demografico, espansione urbana, mobilità, sviluppo di aree industriali	Urbanizzazione	Aree urbane e infrastrutture principali		Terre sterili	Non determinati
Sistema di degradazione del suolo: salinizzazione					
DETERMINANTI	PRESSIONI	INDICATORI DI STATO		INDICI D'IMPATTO	INDICI DI RISPOSTA
Gestione dell'acqua	Sovraemungimento degli acquiferi costieri e in aree su litotipi salini, irrigazione con acque saline	Acquiferi potenzialmente salini	Distanza dal mare	Terre vulnerabili	Non determinati
			Quota		
			Litotipi salini		

Tabella 2b - Il modello DPSIR e gli indici di rischio di desertificazione utilizzati.

Sistema di degradazione del suolo: denudamento per erosione idrica					
DETERMINANTI	PRESSIONI	INDICATORI DI STATO		INDICI D'IMPATTO	INDICI DI RISPOSTA
Clima, agricoltura, pascolo, selvicoltura, altre azioni dell'uomo	Aggressività climatica, incendi, gestione del suolo	Caratteri del suolo	Pendenza	<i>Terre vulnerabili</i>	Aree protette
			Profondità radicabile	<i>Terre sensibili o aggravamento del rischio</i>	
			Presenza di fenomeni di erosione	<i>Terre sterili e sensibili o aggravamento/mitigazione del rischio</i>	Misure agro-ambientali
		Copertura vegetale	Normalized Difference Vegetation Index (NDVI)		
		Attività dell'uomo	Pressione di pascolamento	<i>Terre sensibili o aggravamento del rischio</i>	
			Aree incendiate	<i>Aggravamento del rischio</i>	
Sistema di degradazione del suolo: copertura del suolo per deposizione					
DETERMINANTI	PRESSIONI	INDICATORI DI STATO		INDICI D'IMPATTO	INDICI DI RISPOSTA
Geologia e geomorfologia	Eruzioni vulcaniche	Effusioni vulcaniche recenti e alvei fluviali		<i>Terre sterili</i>	Non determinati

2.2 Aree sterili, vulnerabili e sensibili

Un'area a rischio di sterilità funzionale è un territorio che è vulnerabile o sensibile ai processi di forte ed irreversibile degradazione del suolo. In un'area vulnerabile, le caratteristiche dei suoli sono vicine a quelle dell'area a sterilità funzionale, ma alcuni fattori, per esempio la copertura della vegetazione o l'irrigazione, attenuano con successo il processo di desertificazione. D'altra parte, una terra sensibile è una superficie in cui il processo che conduce alla desertificazione è attivo, anche se il suolo non ha ancora sterilità funzionale. Da notare che alcuni processi di degradazione anche severa del suolo, quali i livellamenti e i movimenti di terra operati per l'impianto di colture agricole specializzate, in particolare i vigneti in collina, non sono da considerarsi processi di desertificazione, in quanto la funzionalità del suolo permane, anche se diminuisce la sua capacità d'uso (Costantini et al., 2004).

L'obiettivo è distinguere chiaramente e il più oggettivamente possibile: i) le aree sterili, ii) quelle che, pur non essendo ancora sterili, appaiono in una fase di attiva forte degradazione o sono fortemente minacciate (aree sensibili), iii) quelle che hanno condizioni ambientali tali che possono portare alla loro sterilità se i fattori di equilibrio cambiano o vengono perturbati (aree vulnerabili).



Figura 2 - Esempio dei concetti di area “sterile”, area “sensibile” e area “vulnerabile”. Nella foto, relativa ad un comprensorio calanchivo dell'Italia centrale, le aree sterili sono costituite dai versanti denudati e non coltivati, le aree sensibili sono le aree coltivate soggette ad intensi ed attivi fenomeni di erosione, le aree vulnerabili sono quelle protette dalla vegetazione arborea.



Figura 3 - Particolare di aree sensibili (aree coltivate, con suoli sottili e in pendenza e fenomeni di erosione di tipo rills e gullies) e vulnerabili (aree boscate) alla sterilità funzionale in Italia centrale. Sullo sfondo, la presenza di piccole aree calanchive già sterili testimonia la fragilità complessiva del territorio.



Figura 4 – Esempio di suolo degradato, ma non sterile in Italia centrale. Vi sono asportazioni di suolo per oltre due metri di spessore in livellamenti operati per l’impianto di vigneti. La risorsa suolo viene gravemente degradata e la sua capacità d’uso limitata, ma non vi è sterilità funzionale.

2.3 Scelta degli indicatori e indici di stato, impatto e risposta

Alla scala di riferimento del progetto, la scelta degli indicatori è stata fatta considerando in primo luogo i parametri suggeriti dalle esperienze precedenti, internazionali, nazionali e regionali, riportate in letteratura (FAO, 2003; Enne e Zucca, 2000; Motroni et al., 2004). L'effettivo utilizzo degli indicatori presenti in letteratura è stato però limitato dalla possibilità reale di disporre o recuperare con i tempi e i mezzi a disposizione le basi di dati specifiche per tutta l'area d'indagine.

Il primo passo nel processo di valutazione è stato la delimitazione della porzione del territorio nazionale a rischio potenziale di desertificazione e quindi da indagare a maggior dettaglio. Ciò è stato fatto su base climatica e pedoclimatica. Gli indicatori usati sono stati l'indice di aridità (rapporto tra piogge medie annuali ed evapotranspirazione potenziale secondo Hearthgraves), i regimi pedoclimatici secondo la Soil Taxonomy (Soil Survey Staff, 1999) e le regioni climatiche d'Italia (Finke et al., 1998; Righini et al., 2001). Abbiamo considerato i regimi pedoclimatici perché il suolo è capace di immagazzinare acqua e attenuare le escursioni di temperatura e il rischio di siccità nella zona radicale. I regimi di umidità del suolo ustico, xerico, xerico secco e aridico identificano infatti territori con diverso grado di deficit idrico potenziale. Inoltre, i suoli con regime di temperatura termico e ipertermico si riferiscono a terre con alte temperature nella zona radicale, che possono aumentare il tasso di decomposizione della materia organica, particolarmente negli usi agricoli. La delineazione dell'area potenzialmente a rischio, e quindi da indagare a maggior dettaglio, è stata fatta sulla base delle regioni climatiche. I dettagli metodologici sono riportati nei capitoli seguenti.

Per quanto riguarda la scelta degli indici, questa è stata fatta in funzione dei diversi sistemi di degradazione del suolo.

Fra i sistemi di degradazione del suolo, l'erosione idrica è senza dubbio il più preoccupante. Un elemento comune che inconfutabilmente associa molte aree soggette a desertificazione è costituito dalla progressiva riduzione dello strato superficiale del suolo e della sua capacità produttiva. Anche se questo fenomeno è legato alla storia dell'uso del suolo sia agricolo che extra-agricolo, negli ultimi decenni, con la modernizzazione dei sistemi produttivi, si stima che l'erosione superi di 30 volte il tasso di sostenibilità (erosione tollerabile). L'erosione, provocando la perdita dello strato fertile di suolo, degrada le terre coltivate, fino a rendendole, nei casi estremi, improduttive. Attualmente, a livello mondiale, 12 milioni di ettari vengono distrutti e abbandonati ogni anno perché non più produttivi. In molte regioni tale perdita di suolo è la maggior causa di carenza di cibo e di denutrizione. Oltre alla perdita di suolo, l'erosione crea notevoli problemi ambientali. I fertilizzanti e i pesticidi, utilizzati in modo massiccio, vengono asportati con le particelle del suolo creando un danno economico, di inquinamento e di distruzione degli habitat naturali. Le cause principali di tale erosione accelerata sono dovute essenzialmente ad un non corretto uso del suolo e non solo per finalità agricole. Effetti non trascurabili sono dovuti in parte anche ai cambiamenti climatici: sono sempre più frequenti, infatti, eventi piovosi notevoli concentrati in poco tempo; aumenta quindi l'aggressività erosiva delle piogge.

Se negli ultimi decenni la copertura forestale del nostro Paese è aumentata, aumentando parallelamente la difesa del suolo dall'aggressività climatica, permangono molte situazioni, soprattutto nell'Italia centro meridionale, dove ad una scarsa copertura vegetale corrisponde un eccessivo sfruttamento dei pascoli. La presenza di pascolamento intenso è stato considerato un indice di sensibilità o di aggravamento del rischio di degradazione del suolo per erosione.

Un altro ben noto indice di aggravamento del rischio di erosione del suolo è rappresentato dagli incendi forestali.

Nelle nostre elaborazioni non sono state fatte distinzioni tra superfici denudate per cause antropiche o per cause naturali. In effetti, non conducendo un'analisi dei processi, ma della

situazione di fatto, non era possibile stabilire con certezza l'origine e l'epoca del denudamento. E' noto altresì che i cicli di denudamento e rigenerazione della copertura vegetale possono essere di natura e lunghezza molto complessa e di non facile discernimento.

In alcune regioni d'Italia, fra le quali spiccano Toscana, Sardegna, Sicilia, Puglia, Calabria e Basilicata, le pianure costiere, specialmente nelle zone più prossime al mare, presentano dei problemi per quanto riguarda il tenore di sali nei suoli. L'aumento della salinità è dovuto alla risalita capillare ed all'utilizzo di acque ricche in sali, a causa del crescente fenomeno di intrusione di acque marine nei corpi acquiferi continentali, a sua volta determinato dal massiccio emungimento, spesso incontrollato, delle acque dolci sotterranee, ed a non corrette pratiche irrigue. Ciò può accompagnarsi a un'irrigazione con acque sempre più salate, soprattutto se le caratteristiche di permeabilità del substrato non consentono una spontanea perdita dei sali verso gli strati più profondi. Un drenaggio imperfetto, legato alla presenza di strati impermeabili, quali possono essere depositi argillosi lagunari, spesso presenti nel sottosuolo di terreni alluvionali costieri, causa il permanere, in prossimità della superficie, di acqua di scarsa qualità e la conseguente risalita capillare nella zona radicale. Inoltre l'eliminazione o la riduzione dell'effetto tampone delle zone umide costiere sul cuneo salino ad opera della bonifica meccanica non opportunamente organizzata e monitorata può accelerare il processo di salinizzazione delle pianure costiere. Oltre alla penetrazione del cuneo salino dalle acque del mare, un'altra fonte di possibile contaminazione salina delle falde idriche superficiali è rappresentato dalla presenza di litotipi salini, quali quelli che appartengono alla serie "gessoso solfifera".

Una terza forma di perdita irreversibile della funzionalità produttiva ed ecologica del suolo, che può essere compresa nel concetto di desertificazione, è rappresentata dall'urbanizzazione, o "cementificazione", che corrisponde all'anglosassone "soil sealing". I consumi di suolo per l'aumento delle superfici occupate da strutture ed infrastrutture hanno raggiunto valori elevatissimi in alcune aree d'Italia, causando problemi di varia natura, tra cui l'aumento del rischio di alluvioni. Per citare alcuni dati, in Pianura Padana il 9,9% della superficie della regione pedologica è occupato da attività extra-agricole quali opere di urbanizzazione, cave e discariche, con massima concentrazione nell'alta pianura (12,5% della superficie) e sulle colline moreniche (16,9% della superficie). In Versilia e nelle pianure interne della Toscana, Umbria e Lazio il consumo di suolo per attività extra-agricole raggiunge il 10,6% della superficie. Nelle aree collinari vulcaniche dell'Italia centrale e meridionale, le attività extra-agricole coprono in media l'11,5% della superficie, ma superano il 50% nella provincia di Napoli (Costantini e Righini, 2003). L'urbanizzazione è stata considerata causa di perdita pressoché irreversibile della risorsa suolo anche nei casi in cui investa aree a sterilità funzionale. Le aree a sterilità funzionale agricolo-forestale, infatti, sono sempre aree a valenza ecosistemica importante, per cui la loro perdita è sempre una degradazione dell'ambiente. Peraltro, nella realtà fattuale le aree urbanizzate non si sovrappongono quasi mai a quelle a sterilità funzionale. La nostra è in ogni caso una valutazione di primo riconoscimento. Si dà per scontato ad esempio che nel caso di ponti e gallerie la perdita della risorsa suolo è molto parziale, mentre d'altra parte non si considerano le perdite di suolo dovute alle case sparse o alla viabilità secondaria.

Oltre all'urbanizzazione, si è evidenziata la copertura del suolo per deposizione a causa di eruzioni vulcaniche recenti. Le aree con inondazioni frequenti, invece, non sono state cartografate singolarmente, per problemi di scala, ma rientrano nelle aree naturali scoperte e nei corpi idrici dell'analisi NDVI. La perdita di suolo è in questi casi di carattere prevalentemente od esclusivamente naturale, ma rappresenta ugualmente un importante processo d'impoverimento della risorsa suolo per usi agricoli e silvopastorali

Il rischio siccità è un fattore che indica una vulnerabilità potenziale, cioè una condizione predisponente al rischio di sterilità funzionale del suolo. Per ottenere una valutazione più dettagliata della siccità potenziale, adeguata alla scala regionale, è stato utilizzato come indicatore il numero medio annuale di giorni in cui la sezione di controllo del suolo è secca. Questo valore, calcolato tenendo il prato asciutto come coltura di riferimento, può essere utile

per individuare le aree dove senza l'irrigazione non sono possibili la maggior parte delle colture estive, e dove anche quelle autunno-invernali, in particolare cerealicole, possono soffrire del fenomeno della "stretta". Sono queste le aree dove è tradizionalmente diffusa la pratica del maggese. Anche in questo caso si rimanda ai capitoli successivi per avere maggiori ragguagli metodologici.

Come si è accennato in precedenza, non si è considerata una importante pressione, l'inquinamento. Coerentemente all'impostazione metodologica, la scelta delle pressioni studiate è stata fatta in funzione dei dati disponibili per tutta Italia. Il fatto che l'inquinamento non sia stato trattato deriva proprio dall'insufficienza di dati quantitativi e georiferiti per un'area d'indagine vasta come quella in studio.

Sono stati infine previsti tre indici di risposta ai processi di degradazione del suolo: i) l'attuazione delle misure agroambientali previste dall'Unione Europea e ii) la presenza di aree protette, sia a carattere nazionale che regionale, per la mitigazione del rischio di erosione idrica del suolo e per la limitazione dell'espansione urbana; iii) la presenza dell'irrigazione, per la mitigazione del rischio siccità.



Figura 5 – L'immagine satellitare dell'illuminazione notturna nel bacino del Mediterraneo fornisce un'idea della pressione per urbanizzazione. Come si può notare, a parte i principali agglomerati urbani, sono le aree costiere le più a rischio di perdita di suolo.

2.4 Descrizione delle banche dati utilizzate

2.4.1 Banche dati pedologiche

La conoscenza del suolo è l'elemento chiave per l'identificazione delle aree soggette a sterilità funzionale e per la comprensione dei processi di degrado delle terre. In Italia non esiste un servizio pedologico nazionale e questo rende molto complessa la valutazione delle caratteristiche del suolo su tutta l'area di studio del progetto. In altri progetti relativi allo studio del rischio di desertificazione si è scelto di parametrizzare le classi tipologiche di suolo indicate nelle cartografie pedologiche tradizionali (dalla scala 1:1.000.000 fino alla scala 1:25.000, a seconda della disponibilità e dell'estensione dell'area analizzata) per ognuna delle caratteristiche

funzionali del suolo al rischio di desertificazione (acqua disponibile, spessore, contenuto di argilla, sostanza organica, ecc). Si è utilizzata quindi una categoria tassonomica, anziché dei reali profili di suolo, per ricavare dei parametri funzionali. L'approccio innovativo da noi adottato utilizza invece come riferimento la banca dati dei suoli tenuta dal Centro Nazionale di Cartografia Pedologica presso l'Istituto Sperimentale per lo Studio e la Difesa del Suolo di Firenze, dove vengono raccolti ed armonizzati i dati sui suoli di tutta Italia, puntuali e cartografici, al fine di produrre elaborazioni a livello nazionale. Nella banca dati sono presenti al momento 27.300 osservazioni (soprattutto profili e pozzetti, marginalmente trivellate), dei quali 19.080 ricadono nell'area di studio del progetto.

I dati pedologici osservati nella realtà sono spazializzati tramite una metodologia basata sul paradigma suolo (Hudson, 1992; Indorante et al. 1999) la quale si appoggia sugli elementi geografici poligonali dei sottosistemi di terre. Questa metodologia, implementata da funzioni sviluppate dal CNCP, si inserisce nella ricerca attuale a livello internazionale sullo studio delle relazioni fra il suolo e il suo ambiente (Mc Bratney et al., 2003).

Avendo scelto di utilizzare solo dati relativi a profili e pozzetti, descritti ed analizzati, presenti in banca dati, è risultato che circa il 20% del territorio in studio non è coperto da informazioni pedologiche e risulta quindi non valutato.

2.4.1.1 La banca dati delle osservazioni puntuali

I dati sui suoli nell'area studiata dal progetto sono ricavati dalla banca dati nazionale dei suoli d'Italia, creata, gestita e aggiornata dal Centro Nazionale di Cartografia Pedologica in collaborazione con i Servizi Pedologici Regionali ed altri Istituti di Ricerca. Il CNCP raccoglie dati pedologici sotto forma di profili, trivellate e pozzetti realizzati in tutta Italia da Amministrazioni Pubbliche, Enti, Istituti di Ricerca, Università e ditte private. Le osservazioni pedologiche sono armonizzate e informatizzate nella banca dati gestita da un'applicazione software realizzata dal CNCP (CNCP2004). Lo stesso software dispone di funzioni per la correlazione e la definizione di unità e sottounità tipologiche di suolo e per la gestione del legame con i vari livelli geografici (sistemi di terre, sottosistemi di terre e unità di terre).

Nella banca dati i rilievi sono puntuali, descrivono cioè il paesaggio e le caratteristiche chimiche e fisiche degli orizzonti del suolo nel punto dove i dati sono stati raccolti.

La singola informazione pedologica è archiviata all'interno della banca dati come sito (sia esso un profilo, una trivellata, un pozzetto od un'osservazione speditiva). Ad ogni sito sono collegate informazioni sulla stazione (morfologia, substrato, uso del suolo, caratteristiche della falda, ecc.) e sulla sua organizzazione verticale in orizzonti. Agli orizzonti sono collegate diverse informazioni quali: spessore, colore, struttura, porosità, scheletro, conducibilità idraulica, figure pedogenetiche testimoni di processi o di qualità del suolo, ecc. Ad ogni orizzonte sono collegate tabelle che riportano i dati delle analisi chimiche e fisiche.

I siti possono essere organizzati in unità tipologiche di suolo, che riuniscono osservazioni simili per caratteri paesaggistici, genetici e applicativi. Non essendo stata ancora realizzata la correlazione dei suoli e la loro organizzazione in unità tipologiche, per questo progetto sono stati utilizzati i dati dei singoli suoli, raggruppati per ambienti pedopaesaggistici simili alla scala di riferimento dell'Atlante.

Per ogni dato puntuale sono definiti i fattori ambientali della pedogenesi (morfologia, litologia, uso del suolo), le regioni pedologiche, i sistemi di terre e i sottosistemi di terre d'appartenenza semantica. Questi dati determinano la componente territoriale di cui il suolo è espressione. Il significato e l'importanza delle componenti territoriali nella produzione della cartografia pedologica funzionale al progetto sono descritti nei capitoli seguenti.

Le caratteristiche del suolo considerate nell'elaborazione degli indicatori sono la profondità radicabile, la ritenzione idrica e la presenza di fenomeni di erosione in atto, in particolare rills e gullies. Le caratteristiche del suolo utilizzate per l'analisi pedoclimatica sono invece indicate nel capitolo specifico.

2.4.1.1.1 Profondità radicabile

La profondità radicabile esprime la distanza fra la superficie e strati o orizzonti del suolo in cui fattori fisici e/o chimici ostacolano lo sviluppo in profondità degli apparati radicali della maggior parte delle colture agrarie e/o forestali. Lo spessore del suolo è un elemento fondamentale per definire la vulnerabilità del suolo a fenomeni erosivi. Suoli sottili su forti pendenze sono vulnerabili e se non coperti da vegetazione protettiva, facilmente evolvono verso uno stato di sterilità funzionale.

2.4.1.1.2 Fenomeni di erosione in atto segnalati dai rilevatori

La presenza di fenomeni erosivi è uno degli elementi che il pedologo rileva in campo per descrivere il sito del suolo che sta studiando. L'indicazione della presenza di questi fenomeni nella banca dati, anche se certo non esaustiva per l'analisi dell'erosione, è un elemento prezioso per identificare situazioni di degrado reali, effettivamente osservate sul campo. I fenomeni erosivi segnalati dai rilevatori sono molteplici (vedi capitolo 2.6.1.2), ma i più frequenti sono i rills e i gullies. I rills sono piccoli ma ben definiti canali sulla superficie del suolo causati dal processo erosivo, entro cui scorre il deflusso superficiale causando rilevante distacco e trasporto delle particelle di suolo. Tali incisioni possono essere generalmente cancellate dalle normali lavorazioni del suolo. I gullies sono incisioni profonde sulla superficie del suolo determinate dall'incedere del processo erosivo. La presenza di tali incisioni ostacola le normali pratiche agricole e rende sempre più instabile il versante. I gullies possono essere eliminati unicamente con onerosi interventi di risistemazione del versante.

2.4.1.1.3 Capacità di ritenuta idrica (AWC)

La capacità di ritenuta idrica (o acqua disponibile, AWC, available water capacity) si riferisce alla quantità di acqua, utilizzabile dalla maggior parte delle colture, che un suolo è in grado di trattenere. E' data dalla differenza tra la quantità di acqua presente nel suolo alla capacità di campo e quella presente al punto di appassimento. E' comunemente espressa come mm di acqua per cm di profondità di suolo. Questa caratteristica del suolo è importante per la sua funzione mitigatrice dello stress idrico della pianta causato dalle esigenze evapotraspirative.

2.4.1.2 Gerarchia dei pedopaesaggi

I caratteri e le qualità del suolo che misuriamo o stimiamo hanno una variabilità temporale: le proprietà del suolo possono variare in tempi brevi (ad esempio il contenuto idrico) o lunghi (la ritenzione idrica al punto d'appassimento), in modo continuo, discontinuo o ciclico. I caratteri e le qualità del suolo hanno anche una struttura spaziale. Una variabile, ad esempio il contenuto in argilla, cambia con la profondità con riferimento ai diversi orizzonti riconosciuti nel profilo. La stessa variabile ha poi una variabilità orizzontale, che può essere diversa per i vari orizzonti. Vi sono infine altre fonti di variabilità legate al campionamento e agli errori d'analisi o di stima.

Il metodo diffuso tra i pedologi geografi per apprezzare la variabilità spaziale di un carattere pedologico si basa sulla constatazione che la struttura spaziale delle variabili non varia in modo casuale, ma è molto correlata all'azione di alcuni fattori che agiscono congiuntamente, i cosiddetti "fattori della pedogenesi": il clima, gli organismi, il materiale genitore, la morfologia e il tempo. I suoli sono dei corpi naturali sensibili a variazioni anche piccole dei loro fattori di stato e alcuni di questi (in particolare la morfologia, il materiale genitore e l'uso del suolo) variano in natura in modo spesso discontinuo. Il risultato è che alcune variabili pedologiche hanno congiuntamente delle variazioni che si ripetono per tratti estesi di territorio. Le misure dei caratteri e delle qualità del suolo rilevate in un punto specifico possono quindi essere ritenute

valide, con un determinato grado di approssimazione e di incertezza, nelle aree dove i fattori della pedogenesi alla scala di riferimento sono analoghi a quelli dell'ambiente in cui il suolo è stato rilevato. Questo principio fa sì che la cartografia pedologica sia una scienza basata su un paradigma, il cosiddetto "paradigma suolo" (Hudson, 1992; Indorante et al. 1999).

I contenitori geografici che esprimono la combinazione dei fattori pedogenetici e dei loro pattern ricorrenti sono i pedopaesaggi. Il pedopaesaggio è un tratto di superficie terrestre che ha un certo significato pedologico: raccoglie suoli che hanno in comune una o più caratteristiche, proprietà o processi, ed è individuabile da un insieme di condizioni climatiche, litologiche, morfologiche, pedologiche, di uso del suolo e di vegetazione.

Tabella 3 – I livelli pedopaesaggistici.

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

L'organizzazione geografica delle informazioni pedologiche avviene a diverse scale, dalla più generale (1:5.000.000) finalizzata alla correlazione europea, fino a quella di dettaglio (1:10.000-1:25.000) per applicazioni locali. Esiste quindi un sistema di banche dati in cui sono codificati i legami tra i suoli e il paesaggio alle diverse scale, che definiscono una gerarchia di pedopaesaggi a diverso livello di generalizzazione geografica e pedologica (tabella 3). Le relazioni tra i livelli pedopaesaggistici sono logiche e semantiche, più che topologiche. Ad esempio, in una regione pedologica (soil region) possono essere geograficamente contenuti sistemi pedologici che appartengono semanticamente ad un'altra regione pedologica, ma che non è stato possibile differenziare nella delineazione dei poligoni a scala 1:5.000.000.

I contenitori pedogeografici vengono definiti come "di terre", quando l'informazione sui suoli è generica ed è trattata come descrivente all'interno della BD geografica, "pedologiche" quando l'informazione pedologica è organizzata in una BD specifica ed è collegata alla banca dati geografica.

Ogni poligono di ogni livello geografico collegato ad una BD pedologica è individuato sia in funzione dei suoi attributi discriminanti, che dalla combinazione di componenti territoriali esistenti al suo interno.

Le componenti territoriali sono tutte le combinazioni di morfologia, litologia ed uso suolo presenti all'interno di ogni poligono. Esse vengono identificate per mezzo delle informazioni territoriali tematiche utilizzate per la costruzione di ogni livello geografico ed hanno legende specifiche per ogni livello. Non hanno una geografia definita e non coincidono necessariamente con le unità del livello inferiore. Le componenti territoriali dei sistemi, ad esempio, non corrispondono ai sottosistemi.

Il livello pedopaesaggistico utilizzato in questo progetto per spazializzare l'informazione pedologica puntuale contenuta nella banca dati è quello dei sottosistemi di terre.

2.4.1.3 Regioni pedologiche (soil regions)

Le regioni pedologiche sono il primo livello della gerarchia dei paesaggi. La scala di riferimento è 1:5.000.000 e consentono un inquadramento pedologico a livello nazionale. La carta delle regioni pedologiche italiane (Righini et al., 2001) è stata realizzata in collaborazione con l'European Soil Bureau e le linee guida per lo svolgimento del lavoro sono quelle descritte dal Manuale europeo, versione 1.0 (European Commission, 1999). Seguendo le indicazioni del manuale, i fattori fondamentali per la determinazione delle regioni pedologiche sono stati le condizioni climatiche e quelle geologiche; si presuppone infatti che tali elementi caratterizzino lo sviluppo dei diversi processi pedogenetici, così da dar luogo a differenti suoli dominanti. In seguito, oltre che per clima e geologia principale, le regioni pedologiche sono state caratterizzate per il pedoclima, vale a dire regime idrico e termico dei suoli (Soil Survey Staff, 1999), morfologia, tipi di suolo maggiormente presenti, loro capacità d'uso, limitazioni permanenti e processi di degradazione più importanti. La descrizione dei processi degradativi dei suoli nelle regioni pedologiche italiane è stata realizzata utilizzando le informazioni presenti nella banca dati delle regioni pedologiche, le informazioni sull'uso del suolo prodotte dal progetto CORINE land cover (Cumer, 1994), le esperienze regionali raccolte per la relazione sullo stato dell'ambiente edita dal Ministero dell'Ambiente e la banca dati dei suoli nazionali mantenuta presso il Centro Nazionale di Cartografia Pedologica. Lo strato geografico vettoriale delle regioni pedologiche con tutta la documentazione è disponibile sul sito del CNCP (www.soilmaps.it).

2.4.1.4 Sistemi di terre

I sistemi di terre rappresentano una suddivisione del territorio italiano in paesaggi la cui scala di riferimento è di 1:500.000. Sono stati realizzati in collaborazione con i servizi pedologici regionali e consulenti esterni. Sono rappresentati da aree riconosciute come omogenee in funzione di caratteri legati essenzialmente a morfologia, litologia e copertura del suolo. Di questi, i primi due sono definiti come discriminanti geografici, ovvero sono utilizzati per tracciare i limiti tra sistemi diversi, mentre la copertura del suolo rappresenta un discriminante semantico e come tale utilizzato in una fase successiva. In particolare, poligoni con uguale morfologia e litologia, ma diversa configurazione di uso del suolo, acquistano un codice identificativo diverso.

Le banche dati di supporto nella fase di delineazione geografica sono: il Modello Digitale del Terreno (con risoluzione 250 metri), riclassificato secondo classi che fanno riferimento al secondo livello di SOTER (1993) e con l'aggiunta di una discriminazione in base alle fasce isometriche; il JOG; l'Idrografia in scala 1:25.000, la Carta Geologica d'Italia in scala 1:500.000; le immagini da satellite Landsat sulla base delle quali vengono apposti i limiti desunti dalla fotointerpretazione. Per quanto riguarda invece la copertura del suolo il riferimento è la banca dati "Corine Land Cover" (1990), opportunamente riclassificata in funzione delle esigenze legate alla scala e alle finalità essenzialmente pedologiche del lavoro. La collaborazione con altre istituzioni, prevalentemente di carattere regionale, ha reso disponibile in molti casi materiale che è risultato più aggiornato o con un dettaglio migliore rispetto a quello descritto precedentemente.

Ogni sistema di terre così delineato risulta descritto da una serie di attributi che fanno riferimento a legende opportunamente create. Per quanto riguarda la morfologia, oltre alla combinazione morfometrica di quota e pendenza e al "pattern" di drenaggio esistono indicazioni sui principali agenti morfogenetici che concorrono alla genesi e modellamento del paesaggio. La natura litologica prevalente e secondaria delle formazioni geologiche che caratterizzano il

sistema è definita da attributi che fanno riferimento a raggruppamenti di litologie effettuate secondo criteri di tipo funzionale essenzialmente ai processi pedogenetici, così come è accaduto per la copertura del suolo. Oltre a questi attributi, la cui concatenazione nella banca dati serve ad identificare il sistema stesso, ne esistono altri definiti come descrittivi, e come tali aggiunti a posteriori. Tra questi oltre a quelli relativi alla regione pedologica di appartenenza, alla regione amministrativa, ai suoli principali, al regime pedoclimatico e ad una descrizione geografica dell'area, ci sono quelli di "forma regionale" riferiti ad una legenda creata appositamente per la correlazione nella pianura del Po per le regioni del Nord Italia. Infine sulla base delle combinazioni degli attributi relativi alla morfologia, alla litologia principale e secondaria e ai tre attributi di uso del suolo, si ricavano le sei "componenti territoriali" che compongono il sistema, riconosciute geograficamente mediante sovrapposizione delle banche dati relative, ma non delineate. In alcuni casi le componenti possono derivare dalla combinazione di attributi che non sono quelli identificativi del sistema, ma che assumono comunque una certa rilevanza nella descrizione del paesaggio. Questo comporta che il loro numero possa essere talvolta superiore a sei, o al contrario inferiore quando le litologie e gli usi del suolo dominanti nel sistema non generino, combinati tra loro, componenti di rilievo. Per ulteriori dettagli sulla metodologia di creazione dei sistemi di terre si rimanda a Costantini et al. (2003).

2.4.1.5 Sottosistemi di terre

I sottosistemi di terre sono lo strato geografico utilizzato per spazializzare i dati pedologici puntuali della banca dati dei suoli d'Italia. La banca dati dei sottosistemi di terre è costituita da un layer poligonale a copertura regionale, con dettaglio informativo e geografico corrispondente alla scala 1:250.000. Quando possibile, è stato recuperato e rielaborato il materiale prodotto dalle Regioni nell'ambito del progetto "Carta dei suoli d'Italia a scala 1:250.000". Nelle Regioni in cui il progetto non si è ancora concluso, si è proceduto ad una prima approssimazione dei sottosistemi funzionale agli obiettivi dell'Atlante Nazionale del rischio di desertificazione. Questo lavoro in nessun caso sostituisce il prodotto elaborato dai singoli Servizi Regionali, che raccoglie e correla una maggiore massa di dati.

I sottosistemi possono essere definiti come unità cartografiche, vale a dire l'insieme dei poligoni caratterizzati da attributi geografici simili (litologia, morfologia, uso del suolo), utilizzando legende in grado di esprimere la percezione e l'influenza dei fattori della pedogenesi al livello di dettaglio proprio di questa scala. Ambienti simili per substrati geologici, morfologie ed usi del suolo e che appartengono semanticamente ad uno stesso sistema di terre e ad una stessa regione pedologica, apparterranno allo stesso sottosistema di terre.

2.4.1.5.1 Metodologia

La metodologia per la delimitazione dei poligoni e per la definizione dei loro attributi consiste in diverse fasi d'interpretazione delle immagini satellitari e delle ortofotocarte e d'analisi di tutte le banche dati disponibili sui principali fattori ambientali (geologia, morfologia, uso del suolo).

Per ogni poligono di sottosistema è stato identificato in primo luogo il pattern dei fattori della pedogenesi, evidenziando variazioni territoriali di significato pedologico. Il limite geografico è stato disegnato sull'immagine satellitare o sull'ortofotocarta tramite convergenza d'evidenze dei tematismi trattati. L'attività d'interpretazione è stata condotta con una scala di riferimento 1:100.000.

Tramite le banche dati disponibili, sono stati associati ad ogni poligono la morfologia principale e secondaria, la litologia principale e secondaria, l'uso del suolo principale e secondario (quando considerato discriminante per l'attribuzione del poligono ad un sottosistema di terre). Ad ogni poligono sono stati inoltre attribuiti la regione pedologica e il sistema di terre d'appartenenza semantica. La combinazione di morfologia principale, morfologia secondaria, litologia principale, litologia secondaria, uso del suolo principale (se discriminante) e uso del

suolo secondario (se discriminante), oltre a quelli della regione pedologica e sistema di terre, costituiscono il codice identificativo del sottosistema di terre. In questo modo, due poligoni con lo stesso codice identificativo fanno parte dello stesso sottosistema di terre.

Sono state inoltre individuate le componenti territoriali dei poligoni dei sottosistemi, espresse come combinazione di morfologia, litologia e uso del suolo. Questi oggetti sono riferibili alla scala 1:100.000. Non hanno una geografia definita, ma sono individuate solo in maniera semantica, divenendo un attributo dei poligoni dei sottosistemi di terre. L'unità minima di percezione delle componenti territoriali dei sottosistemi di terre è stimabile in 25 ha. Il numero di componenti territoriali per ogni poligono non è vincolato né a un minimo né ad un massimo ed è in genere definito da una relazione uno a molti. Le componenti territoriali non sono necessariamente le combinazioni di morfologia, litologia e uso suolo principali e secondari identificati nel codice di sottosistema. Ad ogni componente territoriale è infine associata una percentuale di copertura rispetto all'area del poligono.

2.4.1.5.2 Legende

Le legende utilizzate per morfologia, litologia e uso del suolo rispondono all'esigenza di essere più aggregate rispetto a quelle utilizzate per la descrizione dei siti nel database pedologico delle osservazioni puntuali, e meno aggregate (o uguali) di quelle usate nella definizione dei sistemi di terre (livello gerarchico superiore).

Le fonti delle legende sono: il 2° livello della fisiografia del manuale "guida alla descrizione dei suoli in campagna" ISSDS; per la litologia, nel caso del substrato consolidato, il litotipo con livello di maggior dettaglio, nel caso del substrato non consolidato, il campo "origine del materiale genitore" al 1° o 2° livello di dettaglio del manuale citato; per l'uso del suolo, una legenda originale derivata per semplificazione delle classi previste nel sistema di classificazione "CORINE Land Cover".

2.4.1.5.3 Materiali

L'area di studio è vasta ed il livello e il tipo di banche dati disponibili è molto diversificato per ogni regione amministrativa. È stata quindi necessaria una prima fase di lavoro in cui ogni regione è stata studiata in maniera indipendente, ognuna con le proprie banche dati. Il prodotto finale è stata una banca dati unica (sottosistemi e componenti territoriali), in cui sono state armonizzate e mosaiccate le banche dati regionali.

La banca dati dei sottosistemi si compone di 12.115 poligoni, per i quali sono stati identificati oltre 36.000 componenti territoriali. L'area di studio complessiva è di ca. 16.855.221 ha.

L'unità minima per la definizione dell'unità cartografica, coerentemente con una rappresentazione in scala 1:250.000, è 156 ettari per le unità cartografiche e 25 ettari per le componenti territoriali. In alcune regioni, il riferimento a strati informativi a scala maggiore ha comportato l'abbassamento dell'unità minima delle unità cartografiche fino a 100 ettari (ed in rari casi anche 50 ettari). Le isole con superficie maggiore di 1 ettaro sono tutte presenti.

Per i corpi d'acqua è stato utilizzata, come riferimento comune ed omogeneo per tutta l'area di studio, la banca dati del progetto "CORINE Land Cover" (versione 1990). Sono stati estratti tutti i poligoni relativi ai corpi d'acqua con superficie maggiore di 25 ettari.

A differenza del database dei sistemi di terre, che prevede le aree urbane come unità indipendenti, nei sottosistemi queste non sono considerate superfici a se stanti.

La caratterizzazione per parametri discriminanti (morfologia, litologia e uso del suolo) dei sottosistemi è stata effettuata tramite analisi di varie fonti, alcune nazionali ed altre a copertura regionale o locale. Questo in qualche caso ha determinato differenze di dettaglio riscontrabili nelle diverse coperture regionali

Le caratteristiche morfologiche sono state ricavate dal modello digitale del terreno (MDT) di tutto il territorio nazionale (cella 20 metri) e da immagini da satellite Landsat. Come ausilio

all'interpretazione è stata elaborata dal MDT la classificazione SOTER, modificata da ISSDS, analoga a quella utilizzata per i sistemi di terre. Un altro contributo è venuto dalla consultazione delle basi IGMI a scala 1:100.000 e 1:250.000 (es. aree bonificate).

Le immagini da satellite hanno fornito le informazioni per collegare forme, litologie, uso del suolo e fisionomie vegetazionali. Hanno permesso di confermare e ampliare le informazioni derivanti da altre basi dati e di fare una sintesi nelle aree complesse. Le immagini da satellite sono state anche utilizzate per l'attribuzione semantica dei sottosistemi ai sistemi, in virtù della loro capacità di cogliere i pattern territoriali. La combinazione di bande più utilizzata è stata la 4-5-3.

Come strato informativo si anche è tenuto conto delle elaborazioni predisposte nel corso del presente progetto relativamente all'identificazione delle aree a sterilità funzionale.

Ove disponibili, sono state utilizzate le ortofotocarte digitali con la funzione di fornire chiavi di interpretazione e di chiarire casi particolari.

Come riferimento geologico principale sono state considerate la Carta Geologica d'Italia 1:500.000 (Servizio Geologico Nazionale, 1972), il "Structural model of Italy" 1:500.000 (CNR-PFG, 1991) e la Carta Geologica d'Italia 1:100.000 (269 Fogli, Servizio Geologico Nazionale). Per molte regioni, dove erano disponibili dati più aggiornati ed a scala maggiore, le basi geologiche generali hanno facilitato i processi di armonizzazione.

L'uso del suolo è stato ricavato dalle banche dati regionali prodotte nell'ambito di questo progetto dall' INEA, con dettagli fino alla scala 1:25.000. Oltre alle necessarie ricodifiche ed accorpamenti operati sulle legende originali, è stato necessario suddividere le unità classificate da INEA come "boschi" nelle tre classi di boschi "latifoglie", "conifere" e "misti"; per tale operazione ci si è basati sulla banca dati CORINE (1990). Inoltre la stessa base CORINE (1990) è stata impiegata come integrazione in tutte le aree non coperte da INEA (piccole isole, zona del M. Etna) e completamente per le regioni Toscana, Umbria, Marche e Basilicata. Per Sardegna e Lazio è stato possibile utilizzare il dato dell'aggiornamento 2000 del CORINE Land Cover, che si è reso disponibile solo nelle fasi finali del progetto.

Oltre alle basi dati già citate sono state utilizzate le seguenti fonti:

- carta geologica regionale in scala 1:200.000 della regione Sardegna;
- carta dei suoli della Sardegna in scala 1:250.000 (Regione Sardegna – Università degli studi di Sassari, 1991);
- carta dei suoli della Sicilia (Regione Sicilia – Università degli studi di Palermo, 1988);
- carta pedologica della regione Puglia in scala 1:100.000 prodotta nell'ambito del Progetto regionale "ACLA2";
- carta dei suoli della regione Calabria in scala 1:250.000 (ARSSA Calabria, 2003);
- carta dei sottosistemi di Terre della Regione Abruzzo in Scala 1:250.000 (ARSSA Abruzzo, 2002);
- carta dei sottosistemi Pedologici della Regione Campania in scala 1:250.000 (bozza preliminare, SESIRCA Campania);
- prima approssimazione della base dati georeferenziata dei suoli in scala 1:250.000 prodotta da "Regione Toscana e ISSDS-Firenze" (versione Febbraio 2004).

2.4.1.5.4 Approssimazione geografica delle componenti territoriali

Per ottenere un dettaglio maggiore nella spazializzazione dei dati pedologici, si è definita una prima approssimazione geografica delle componenti territoriali a scala 1:100.000 tramite l'uso del suolo. Ogni poligono di sottosistema è stato suddiviso nei vari usi del suolo presenti al suo interno. Le banche dati di uso del suolo e dei sottosistemi sono state intersecate. I poligoni risultanti sono stati riaggregati all'interno di ogni poligono di sottosistema per riportare il poligono minimo a 25 ettari, verificando che gli usi del suolo fossero coerenti con quelli indicati dalle componenti territoriali. L'unione dei poligoni è stata eseguita associando ogni poligono minore di 25 ettari a quello adiacente con il codice più simile (ad esempio aree agricole con aree

agricole, aree naturali con aree naturali) tramite un modulo appositamente sviluppato con il software GIS. In questo modo è stato possibile definire un limite geografico per l'insieme delle componenti territoriali aventi lo stesso uso del suolo. Questo non equivale ad un'informazione pedologica riferibile alla scala 1:100.000, ma ad un dettaglio informativo riferibile alla scala 1:250.000 rappresentato geograficamente ad una scala più dettagliata.

2.4.1.6 Spazializzazione dei dati pedologici puntuali

L'attribuzione di un valore per le proprietà del suolo ad ogni punto dello spazio si ottiene tramite il legame che si stabilisce fra le osservazioni puntuali della banca dati nazionale dei suoli (che contiene l'informazione pedologica) e la banca dati dei sottosistemi di terre (che contiene l'informazione geografica). L'elemento che permette questo legame è la componente territoriale. Come descritto nei precedenti capitoli, a tutti i profili è attribuita una componente territoriale a livello di sottosistema, intesa come combinazione di morfologia, litologia ed uso del suolo. Analogamente, per ogni poligono di sottosistema è definita una lista di componenti territoriali presenti al suo interno. Il paradigma suolo autorizza allora ad associare il singolo suolo non solo al poligono in cui è stato rilevato, ma a tutti i poligoni in cui si ritrova la stessa componente territoriale all'interno degli stessi ambiti pedopaesaggistici (regioni pedologiche, sistemi di terre e sottosistemi di terre). I livelli di attribuzione suolo-geografia utilizzati sono quattro:

1) l'osservazione si lega alla componente territoriale uguale alla propria del poligono in cui il profilo si trova geograficamente;

2) l'osservazione si lega alla componente territoriale uguale alla propria di tutti i poligoni appartenenti allo stesso sottosistema di terre;

3) l'osservazione si lega alla componente territoriale uguale alla propria di tutti i poligoni appartenenti allo stesso sistema di terre;

4) l'osservazione si lega alla componente territoriale uguale alla propria di tutti i poligoni appartenenti alla stessa regione pedologica.

I quattro livelli di attribuzione hanno un livello di attendibilità decrescente. In tutti i poligoni a cui non è possibile riferire un dato pedologico, l'attribuzione del dato sul suolo non viene effettuata segnalando l'area come non valutabile.

La tabella di legame fra poligoni e profili è generata automaticamente dal software CNCP2004 tramite una serie di funzioni originali. Questo permette un rapido aggiornamento della cartografia pedologica con l'acquisizione di nuovi dati. Per approfondimenti sulla metodologia si rimanda agli articoli e al materiale prodotto dal CNCP e disponibili sul sito www.soilmaps.it.

2.4.2 *Banche dati climatiche*

2.4.2.1 I dati climatici

Il clima rappresenta uno degli agenti più importanti nel processo di desertificazione. L'aggressività climatica è la principale causa dei fenomeni erosivi e franosi, e degli alluvionamenti. Il clima può inoltre costituire il fattore limitante per la crescita della vegetazione in ragione delle scarse precipitazioni e delle alte temperature, tanto da non rendere possibile una coltivazione economicamente sostenibile in assenza di irrigazione. E' il concetto di sterilità funzionale per siccità. La siccità inoltre rende il suolo vulnerabile a processi di degradazione della sostanza organica e della struttura.

La temperatura dell'aria agisce sul suolo sia direttamente (eccessivo riscaldamento del suolo), sia indirettamente (aumento dell'evapotraspirazione), contribuendo al processo di salinizzazione e di degradazione della sostanza organica, soprattutto nelle colture arative.

Per l'elaborazione d'alcuni indicatori di stato si è reso necessario disporre di una banca dati climatica completa, consistente ed estesa a tutta l'area d'indagine. Una banca dati con queste caratteristiche non è stata disponibile od accessibile dal progetto, per cui si è provveduto a raccogliere, controllare ad armonizzare dati provenienti da varie fonti. Le fonti principali sono state il progetto PANDA (Produzione Agricola Nella Difesa dell'Ambiente) e i vari servizi meteorologici nazionali e regionali (tab. 4). I parametri climatici utilizzati nell'elaborazione degli indicatori e nella delimitazione dell'area di studio sono stati: temperatura massima, minima, media e precipitazione (dati giornalieri e/o mensili). I dati giornalieri incrementano la consistenza delle informazioni mensili per qualità e quantità, e sono stati utilizzati nelle elaborazioni pedoclimatiche. Le stazioni raccolte sono state riferite geograficamente ed a ciascuna di esse è stato assegnato un valore di quota e latitudine. Il controllo di qualità del dato, ha comportato l'eliminazione di dati aberranti o anomali rispetto alla località ed alla data dovuti a malfunzionamenti delle apparecchiature o ad errate trascrizioni. Il database, costruito e strutturato su piattaforma Access, accoglie solo valori medi mensili ottenuti, in parte, dal processamento di dati giornalieri tramite il modulo WXPARM che integra il programma EPIC (Environmental Policy Integrated Climate, Sharpley and Williams, 1990). Nella banca dati sono presenti più set di dati riferiti alla stessa stazione, a volte presente in più fonti. La banca dati gestisce in modo indipendente i diversi set di una stessa stazione. Per set di dati s'intendono i dati mensili derivati da una serie storica giornaliera di lungo periodo. La serie storica è nota in termini di inizio e fine delle osservazioni e numero di anni elaborati per i soli dati giornalieri da noi trattati, in taluni casi è esplicitata in termini di inizio e fine della serie storica anche per i dati mensili raccolti oppure esclusivamente in termini di numero di anni elaborati, a seconda della fonte dati. In base a questo criterio sono state confrontate tra loro diverse serie escludendone alcune dalle elaborazioni.

Tabella 4a– Set contenuti nella banca dati climatica.

Dati climatici	annuale	mensile	giornaliera
Precipitazione media	1676	1094	181
Temperatura media	1076	895	181
Temperatura massima e minima		634	

Tabella 4b– Fonti della banca dati climatica.

Fonte	Copertura	Dati
Progetto PANDA, ISSDS	Territorio nazionale	552
Servizio Idrografico e Mareografico Nazionale	Territorio nazionale	260
Ufficio Idrografico	Territorio nazionale	222
Ufficio Centrale di Ecologia Agraria	Territorio nazionale	49
Aeronautica Militare	Territorio nazionale	40
Meteosud	Territorio nazionale	17
www.eurometeo.it	Territorio nazionale	4
www.ilclima.it	Territorio nazionale	2
Servizio Informativo Agrometeorologico Siciliano	Regione Sicilia	181
Assessorato all'Ambiente della Regione Puglia	Regione Puglia	162
Servizio Agrometeorologico Lucano	Regione Basilicata	35
Ufficio Idrografico Pisa	Regione Toscana	24
Laboratorio per la Meteorologia e la Modellistica Ambientale	Regione Toscana	24
Pubblicazione	Regione Toscana	19
ARSIA Toscana	Regione Toscana	16
ARPA Emilia Romagna	Regione Emilia Romagna	13
Servizio Meteorologico Regionale	Regione Veneto	13
ERSAL Lombardia	Regione Lombardia	9
Agenzia Regionale per la Prevenzione e l'Ambiente	Regione Friuli Venezia Giulia	7
ARSIA Umbria	Regione Umbria	7

Fonte	Copertura	Dati
Agenzia Servizi Settore Agroalimentare Marche	Regione Marche	4
Ente Regionale di Sviluppo Agricolo per il Molise	Regione Molise	4
Rete Agrometeorologica Regionale	Regione Campania	3
Istituto Sperimentale Agronomico, Bari	Regione Puglia	2
Sviluppo dei controlli ambientali e banca dati regionale	Regione Liguria	2
Istituto Agrario di S. Michele all'Adige	Provincia Trento	1
Servizio Agrometeorologico Sardegna	Regione Sardegna	1
Centro Agrometeorologico Regionale	Regione Abruzzo	1
Ufficio Idrografico della Provincia Autonoma di Bolzano	Provincia di Bolzano	1

Nel caso dei dati giornalieri è stato necessario colmare alcune lacune d'informazione per poter procedere al calcolo delle medie mensili di lungo periodo (temperatura e precipitazione). Le informazioni termometriche mancanti sono state derivate da interpolazioni dei dati esistenti (lacune minori di una settimana consecutiva) o come replica di periodi analoghi dello stesso set (lacune maggiori di una settimana ed inferiori a quattro mesi). Per i set di dati termometrici con periodi privi d'informazione maggiori di quattro mensilità cumulative nell'anno, è stata esclusa dalle elaborazioni l'intera annualità ove presente una serie storica maggiore di dieci annualità ed è stato escluso l'intero set per serie storiche minori di dieci annualità.

Nel caso di lacune nei dati pluviometrici, le informazioni mancanti sono state generate tramite interpolazione tra stazioni prossime, ove possibile, oppure come replica di periodi analoghi (se minori di una mensilità consecutiva).

I parametri climatici (precipitazione media annua, temperatura media, minima e massima) sono stati spazializzati utilizzando il metodo Ordinary Kriging studiando il modello di autocorrelazione più appropriato.

2.4.2.2 Indice di aridità

2.4.2.2.1 Calcolo dell'evapotraspirazione

Per l'analisi delle caratteristiche agrometeorologiche delle regioni obiettivo 1 (Abruzzo, Molise, Campania, Basilicata, Puglia, Calabria, Sicilia, Sardegna) è stata costruita una banca dati climatica, in cui sono state inserite le fonti informative dell'Ufficio Centrale di Ecologia Agraria (UCEA), già integrate tra loro a formare la Banca Dati Agrometeorologica Nazionale, completate con una ricognizione delle risorse presenti a livello locale e regionale (centri agrometeorologici regionali e Consorzi di Bonifica). Tra le stazioni inserite in banca dati, sono state poi individuate e selezionate quelle con almeno dieci anni di rilevazione affidabile dei valori estremi di temperatura (minima e massima) e di precipitazione giornaliera, in modo da permettere la ricostruzione di un dato medio sufficientemente rappresentativo della climatologia. La banca dati così costruita comprende i dati climatici relativi a 367 stazioni distribuite sulle otto regioni in esame, e calcolati su base giornaliera, di temperatura minima, temperatura massima, precipitazione ed evapotraspirazione potenziale (ET_0). Per 27 stazioni sono disponibili anche dati di eliofania (o radiazione solare), velocità del vento e umidità relativa.

Tabella 5 - Numero di stazioni meteorologiche della banca dati per parametri rilevati. Fonte: UCEA.

Rete	Solo temperatura e precipitazione	Tutti i parametri	Totale
Reti Regionali	8	10	18
Ufficio Centrale di Ecologia Agraria	22	5	27
Aeronautica militare	48	12	60
Servizio Idrografico e Mareografico Nazionale	262	0	262
TOTALE	340	27	367

L'approccio metodologico scelto per il calcolo dell'evapotraspirazione potenziale (ET_0) si basa sull'applicazione della formula empirica di Hargreaves-Samani su tutte le stazioni termopluviometriche presenti in banca dati, si tratta di una formula di tipo "termometrico", basata cioè sulla correlazione empirica tra il volume d'acqua evaporato e la temperatura dell'aria secondo la seguente equazione:

$$ET_0 = C \cdot \frac{R_A}{\lambda} \sqrt{\Delta T} \cdot (T + 17.8)$$

dove:

C = costante empirica, solitamente fissata al valore 0,0023

ET_0 = flusso evapotraspirativo [mm d^{-1}]

R_a = radiazione solare extraterrestre [$\text{MJ m}^{-2} \text{d}^{-1}$]

Δt = escursione termica mensile [$^{\circ}\text{C}$]

λ = calore latente di vaporizzazione dell'acqua [MJ kg^{-1}]

T = temperatura media mensile [$^{\circ}\text{C}$]

Per utilizzare al meglio le risorse disponibili in ciascun sito di rilevamento, si è scelto di integrare il metodo di Hargreaves-Samani con la formula di Penman-Monteith (così come recepita in ambito FAO), utilizzando i dati aggiuntivi richiesti da questo metodo presenti nelle 27 stazioni. La presenza su alcune stazioni dei dati di ET_0 calcolati con entrambi i metodi permette di calibrare il coefficiente empirico C della formula di Hargreaves-Samani sulla base del confronto regressivo con i dati ottenuti secondo Penman-Monteith.

Le figure seguenti mostrano, per una stazione scelta a titolo di esempio (l'osservatorio di Napoli dell'Aeronautica Militare, con dati 1961-1990) la procedura scelta per effettuare tale calibrazione.

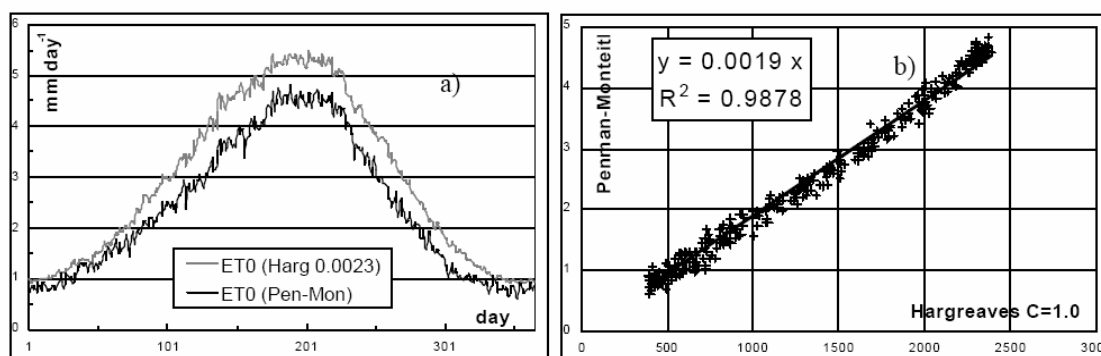


Figura 6 - Calibrazione della formula di Hargreaves-Samani.

La figura 6 evidenzia come il valore di C suggerito in letteratura porta ad una curva di evapotraspirazione giornaliera che si discosta sensibilmente dal risultato ottenuto applicando il metodo combinato di Penman-Monteith (nel caso specifico sovrastimandolo). Assumendo quest'ultimo come metodo più affidabile, in grado di simulare più realisticamente i processi fisici in atto nel sistema pianta atmosfera, lo si può utilizzare come riferimento per tarare la procedura di Hargreaves-Samani. La figura FSD mostra la regressione esistente tra la ET_0 calcolata con la formula di Penman-Monteith ed il valore dell'equazione Hargreaves-Samani in cui sia posto $C = 1$. Il coefficiente angolare della retta che, in base al metodo dei minimi quadrati ed imponendo una intercetta nulla, meglio interpola la serie di dati fornisce quindi la migliore stima del coefficiente C da utilizzare nella formula di Hargreaves-Samani per ottenere una curva di ET_0 quanto più possibile sovrapposta a quella derivante dalla formula di Penman-Monteith. Il valore di C da utilizzare nel caso in esame è 0,0019.

I due grafici della figura 7 mostrano - rispettivamente su base giornaliera e mensile- il confronto tra i risultati delle due formule, avendo stavolta utilizzato per quella di Hargreaves-Samani il nuovo valore del coefficiente C.

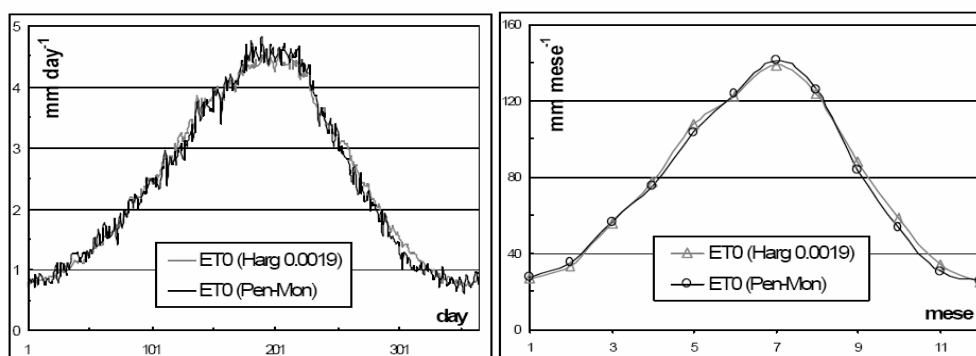


Figura 7- Calibrazione della formula di Hargreaves-Samani: ET₀ ricalcolata con il nuovo valore del coefficiente C.

Il coefficiente C così calibrato su una stazione è stato utilizzato per ricalcolare l'ET₀ secondo Hargreaves-Samani in tutte le stazioni limitrofe, definendo su base regionale i seguenti valori del parametro C.

Tabella 6 – Coefficienti di correzione.

Abruzzo C=0,0019	Molise C=0,0025	Campania C=0,0019
Basilicata C=0,0019	Puglia C=0,0021	Calabria C=0,0021
Sicilia C=0,0029	Sardegna C=0,0023	

2.4.2.2 Spazializzazione dell'indice

L'indice di aridità è il rapporto fra la precipitazione annua e l'evapotraspirazione. Per ottenere una banca dati geografica dell'indice di aridità sono state spazializzate separatamente la precipitazione annua e l'evapotraspirazione. La precipitazione è stata calcolata utilizzando la banca dati climatica puntuale completa (1043 set di dati), spazializzata con il metodo Ordinary Kriging in cui il modello di autocorrelazione è stato studiato separatamente per Sicilia, Sardegna, e area di studio peninsulare. L'evapotraspirazione è stata calcolata utilizzando le 367 stazioni meteorologiche in cui è questo valore era noto. Per la spazializzazione è stato usato il metodo Ordinary Kriging in cui il modello di autocorrelazione è stato anche in questo caso studiato separatamente per Sicilia, Sardegna, e area di studio peninsulare. L'indice di aridità è stato ottenuto facendo il rapporto dei due strati informativi. L'area coperta non è tutta l'aria di studio, ma solo le regioni obiettivo 1 (Abruzzo, Molise, Campania, Basilicata, Puglia, Calabria, Sicilia, Sardegna) per cui erano disponibili i valori di evapotraspirazione.

2.4.2.3 Aggressività climatica

L'aggressività climatica, o erosività delle piogge, è funzione della distribuzione temporale delle piogge e della loro intensità. Più le piogge sono concentrate in brevi periodi, più risulta difficile la gestione delle acque di ruscellamento nella prevenzione dell'erosione del suolo e il sostentamento di un'agricoltura non irrigua. Gli indici più comunemente utilizzati per la stima di questo fattore sono Fournier (1960), Wischmeier (1978), Arnoldus (1980). L'indice utilizzato nel progetto è quello di Arnoldus (FFAO), che può essere calcolato con i dati climatici medi mensili

disponibili nella banca dati climatica e ha una buona correlazione con le piogge di forte intensità (Gregori et al., 2004).

Indice di Arnoldus:

$$F_{FAO} = \sum_{i=1}^{12} \frac{p_i^2}{P}$$

dove:

p_i = precipitazione media mensile

P = precipitazione media annua di lungo periodo

Questa informazione è stata spazializzata utilizzando 1681 set di dati.

L'indice di Arnoldus come misura dell'aggressività climatica è fornito come dato per inquadrare e valutare l'effetto del clima sui processi di desertificazione

2.4.3 Banche dati pedoclimatiche

Il pedoclima è l'insieme delle condizioni d'umidità e temperatura del suolo e delle loro variazioni nell'arco dell'anno. Tali condizioni possono essere definite solo conoscendo il suolo, la sua copertura vegetale, la sua morfologia ed il clima che lo caratterizzano. Le caratteristiche pedoclimatiche sono fondamentali per definire la riserva idrica disponibile alle piante in termini di quantità e distribuzione temporale. Nello studio della desertificazione, il pedoclima è stato utilizzato assieme all'indice d'aridità per delimitare l'area di studio e per calcolare l'indicatore "numero di giorni di secco", che stima la siccità potenziale tenendo conto anche dell'effetto del suolo.

Gli indicatori utilizzati sono stati diversi a seconda della scala di valutazione. In particolare, nella valutazione delle aree a rischio potenziale di desertificazione sono stati utilizzati i regimi di umidità e di temperatura del suolo (Soil Survey Staff, 1999). Nella individuazione del rischio siccità è stato considerato il numero di giorni in cui la sezione di controllo dell'umidità del suolo secondo la Soil Taxonomy è completamente secca.

La banca dati è costituita dalle elaborazioni dei parametri pedoclimatici di 298 associazioni di profili rappresentativi della banca dati nazionale dei suoli (231) con stazioni meteorologiche della banca dati climatica (176). Le elaborazioni sono state eseguite con l'ausilio del modello EPIC (Environmental Policy Integrated Climate, Sharpley and Williams, 1990). Questo modello impiega dati climatici giornalieri e le seguenti informazioni pedologiche o morfologiche: sabbia, limo, densità apparente, punto d'appassimento, capacità di campo, carbonio organico, scheletro, gruppo idrologico, run-off-curve-number, quota, latitudine, pendenza ed albedo del suolo. L'uso del suolo di riferimento è il prato. Integrando il modello con una serie di funzioni costruite tramite fogli di calcolo, per ogni associazione suolo-stazione meteorologica è stato definito il numero annuale di giorni in cui la sezione di controllo è completamente secca (L'Abate, 2004).

2.4.4 Banche dati di uso del suolo

Le banche dati sull'uso del suolo utilizzate nella realizzazione dell'Atlante derivano da "Il progetto CASI (Carta delle Aree di Studio per l'Irrigazione) - Monitoraggio delle aree irrigue e con attitudine all'irrigazione", realizzato dall'INEA nell'ambito del Programma Operativo Multiregionale (POM) "Ampliamento e adeguamento della disponibilità e dei sistemi di adduzione e di distribuzione delle risorse idriche nelle Regioni dell'obiettivo 1" Reg (CEE) n. 2081/93 - QCS 1994/99 Sottoprogramma III Misura 3 "Studio sull'uso irriguo della risorsa

idrica, sulle produzioni agricole irrigate e sulla loro redditività”. Tale prodotto è un database geografico sull’uso/copertura del suolo, in formato vettoriale, che individua le superfici irrigate di tutta l’area di studio (rappresentata dalle Regioni obiettivo 1 - Abruzzo, Molise, Campania, Puglia, Basilicata, Calabria, Sicilia e Sardegna). Per le altre Regioni (Toscana, Marche, Lazio, Umbria) ricadente nell’area di studio dell’Atlante si è fatto ricorso al database CORINE Land Cover 2000, laddove disponibile, e CORINE Land Cover 1990.

2.4.4.1 Metodologia

La progettazione del monitoraggio dell’uso del suolo è stata articolata attraverso un approccio di tipo modulare, in tre fasi, che corrispondono a 3 successivi livelli di approfondimento, e con l’uso di scale di sempre maggior dettaglio e strumenti e metodologie differenti. Le prime due fasi hanno riguardato il monitoraggio delle aree irrigue delle Regioni obiettivo 1. Tali fasi sono state realizzate al di fuori del progetto “Atlante del rischio di desertificazione” (nel POM), anche se sono state fortemente determinanti ai fini dell’implementazione finale della banca dati sull’uso/copertura del suolo. L’ultima fase ha riguardato l’aggiornamento e l’approfondimento delle aree naturali e seminaturali delle coperture CASI, e l’utilizzazione e integrazione delle coperture CORINE nelle altre aree interessate dall’Atlante.

2.4.4.2 Prima fase: Individuazione dell’area su cui effettuare i rilievi - il CASI 2

In tale fase sono state definite le diverse tipologie di aree su cui eseguire una serie di rilievi e realizzare dei supporti informativi con differenti scale di approfondimento (per informazioni di dettaglio è possibile scaricare la descrizione completa del progetto: <http://www.inea.it/pdf/irri/progettocasi.pdf>) in particolare:

A) le aree di esclusione, non interessate all’irrigazione (per altimetria, pendenza e uso suolo);

B) le aree di inclusione, interessate all’irrigazione (comprensori irrigui);

C) le aree con attitudine fisica all’irrigazione, non comprese nelle due precedenti tipologie.

La definizione di tali aree determina un diverso tipo di approccio e metodologia di rilevamento di uso del suolo: nella zona A non è stato fatto alcun rilievo; nella zona B sono stati effettuati dei rilievi con scala di maggior dettaglio (1:50.000) con approfondimento delle classi CORINE (con definizione di classi di uso del suolo in funzione della pratica irrigua); nella zona C i rilievi si sono basati solo sul telerilevamento (integrati con controlli campione a terra) alla scala 1:100.000.

2.4.4.3 Seconda fase: l’approfondimento dell’analisi – il CASI 3

CASI 3 è stato concepito al fine di monitorare nel tempo l’evoluzione degli ordinamenti colturali irrigui, attraverso il telerilevamento aereo e da satellite.

Il data base sull’uso/copertura del suolo è articolato in due differenti scale riferite alle due tipologie di aree definite con il CASI 2:

- nelle aree con attitudine all’irrigazione (47.296 km²) la scala adottata è 1:100.000;
- nelle aree di inclusione (17.046 km²) la scala adottata è 1:50.000 per quanto riguarda l’accuratezza tematica e 1:25.000 per quella geometrica.

Per superare le limitazioni dovute alla risoluzione geometrica del sensore Thematic Mapper (30 metri) montato sui satelliti Landsat e raggiungere il dettaglio di scala previsto nelle aree di inclusione, l’interpretazione delle diverse classi di uso del suolo è stata derivata

dall'osservazione delle immagini TM con opportune combinazioni di bande (in genere 432, 542, o 453). Le ortofoto digitali in toni di grigio (risoluzione geometrica 1 metro) affiancate all'immagine satellitare hanno supportato l'interpretazione tematica, ma soprattutto sono state utilizzate per la digitalizzazione e la delimitazione geometrica dei relativi poligoni, cosa che ha permesso di raggiungere un'accuratezza tematica equivalente alla scala 1:25.000.

2.4.4.3.1 Definizione unità spaziale di mappatura (poligoni) e unità minima cartografabile

Nella definizione dell'unità spaziale di mappatura si è fatto riferimento alle specifiche previste dalle pubblicazioni "CORINE Land Cover" e "Technical and methodological guide for updating CORINE Land Cover database" della Commissione Europea.

L'unità minima cartografabile è pari a 25 ettari alla scala 1:100.000, 6,25 ettari alla scala 1:50.000.

In scala 1:100.000 la superficie di 25 ha è rappresentata da un quadrato di 5 mm di lato o da un cerchio di 2,8 mm di raggio. La larghezza minima mappabile a questa scala è normalmente di 1 mm (corrispondente a 100 metri reali). L'errore grafico è pari a 0,2 mm, corrispondente a un errore sul terreno di 20 metri.

In scala 1:50.000 la superficie di 6,25 ettari è rappresentata da un quadrato di 5 mm di lato o da un cerchio di 1,4 mm di raggio. La larghezza minima mappabile, a questa scala è normalmente di 1 mm (corrispondente a 50 metri reali). L'errore grafico è pari a 0,2 mm, corrispondente a un errore sul terreno di 10 metri.

2.4.4.3.2 Il sistema di classificazione e la legenda

Nella scelta del sistema di classificazione si è tenuto conto, da una parte della necessità di collegarsi alla nomenclatura CORINE, dall'altra di individuare l'insieme delle colture e delle aree irrigue, attraverso la definizione di un quarto livello relativamente alla classe 2 (territori agricoli), mentre per aree urbanizzate, aree naturali, zone umide, corpi d'acqua, la classificazione si ferma al primo livello CORINE (lo sviluppo delle classi aree naturali ed urbane al III e IV livello è avvenuto nell'ambito della reinterpretazione ed aggiornamento per il progetto "Atlante del rischi di desertificazione"). La definizione del quarto livello del sistema di classificazione è stata preceduta da un apposito studio indirizzato ad individuare l'insieme delle colture irrigue più significative delle regioni meridionali ed i relativi indici di massima copertura vegetale (funzionale all'individuazione dei periodi vegetativi e di massimo fabbisogno idrico colturale) (<http://www.inea.it/pdf/irri/progettocasi.pdf>). Dall'analisi dei dati contenuti nella tabella è stata elaborata la nomenclatura CASI 3, espressamente orientata all'agricoltura irrigua.

2.4.4.3.3 Sistema di coordinate

CASI 3 è inquadrato nel sistema di riferimento cartografico UTM ED50 con origine Greenwich, (fuso 32 per la Sardegna, fuso 33 per le restanti Regioni Obiettivo 1). I dati finali sono stati poi riproiettati nel sistema UTM 32 WGS84 per il progetto "Atlante del rischio di desertificazione".

Tabella 7 - Definizioni relative alla nomenclatura.

<p>2.1. Seminativi.</p> <p>Superfici coltivate regolarmente arate e generalmente sottoposte ad un sistema di rotazione. (Cereali, leguminose in pieno campo, colture foraggere, coltivazioni industriali erbacee, radici commestibili e maggesi).</p> <p><i>2.1.1. Seminativi non irrigui.</i> Vi sono inclusi i seminativi semplici, compresi gli impianti per la produzione di piante medicinali, aromatiche e culinarie e le colture foraggere (prati artificiali), ma non i prati stabili. La caratteristica "non irriguo" è riferita al momento della ripresa satellitare in quanto, molto spesso, anche nelle aree attrezzate per l'irrigazione vengono praticate colture in asciutto stante la mancanza di acqua.</p> <p><i>2.1.2. Seminativi in aree irrigue.</i> Colture irrigate stabilmente e periodicamente. La maggior parte di queste colture non potrebbe realizzarsi senza l'apporto artificiale di acqua.</p> <p><i>2.1.2.1. Colture erbacee da pieno campo a ciclo primaverile - estivo</i> (barbabietola da zucchero, tabacco, girasole, mais, sorgo, cotone, foraggere).</p> <p><i>2.1.2.2. Colture orticole da pieno campo a ciclo estivo - autunnale o estivo - primaverile</i> [cavoli, sedano, finocchio, colture in foglia (lattughe, cicorie, indivie, scarola, spinacio, bietola), carciofo].</p> <p><i>2.1.2.3. Colture orticole da pieno campo a ciclo primaverile - estivo</i> (pomodori, peperoni, melanzane, cocomeri, meloni, zucchine, fagioli, fragole, asparagi).</p>
<p>2.1.2.4. Vivai.</p>
<p>2.1.2.5. Colture in serra e sotto plastica.</p>
<p>2.1.3 Risaie.</p>
<p>2.2. Colture permanenti.</p> <p>Colture non soggette a rotazione che forniscono più raccolti e che occupano il terreno per un lungo periodo prima dello scasso e del reimpianto: si tratta per lo più di colture legnose.</p> <p>Sono esclusi i prati, i pascoli e le foreste.</p> <p><i>2.2.1. Vigneti.</i> Superfici investita a vigna.</p> <p><i>2.2.1.1. Vigneti irrigui.</i></p> <p><i>2.2.1.2. Vigneti non irrigui.</i></p> <p><i>2.2.2. Frutteti e frutti minori.</i> Impianti di alberi o arbusti fruttiferi. Colture pure o miste di specie produttrici di frutta o alberi da frutto in associazione con superfici stabilmente erbate. I frutteti di superficie inferiore a 1,5 ha compresi nei terreni agricoli (prati stabili o seminativi) ritenuti importanti sono da comprendere nella classe 2.4.2.</p> <p>I frutteti con presenza di diverse associazione di alberi sono da includere in questa classe.</p> <p><i>2.2.2.1. Frutteti e frutti minori irrigui.</i></p> <p><i>2.2.2.2. Frutteti e frutti minori non irrigui.</i></p> <p><i>2.2.3 Oliveti.</i> Superfici investita a olivo, comprese particelle a coltura mista di olivo e vite.</p> <p><i>2.2.3.1. Oliveti irrigui.</i></p> <p><i>2.2.3.2. Oliveti non irrigui.</i></p>
<p>2.3. Prati stabili (Foraggere permanenti)</p> <p>Superfici a copertura erbacea densa a composizione floristica rappresentata principalmente da graminacee non soggette a rotazione. Sono per lo più pascolate, ma il foraggio può essere raccolto meccanicamente. Ne fanno parte i prati permanenti e temporanei. Sono comprese inoltre aree con siepi.</p> <p><i>2.3.1. Prati stabili irrigui</i></p> <p><i>2.3.2 Prati stabili non irrigui</i></p> <p>Le colture foraggere (prati artificiali inclusi in brevi rotazioni) sono da classificare come seminativi non irrigui (2.1.1.) o nella classe 2.1.2.1.</p>
<p>2.4. Zone agricole eterogenee.</p> <p><i>2.4.1. Colture temporanee associate a colture permanenti.</i> Colture temporanee (seminativo o foraggere) in associazione con colture permanenti sulla stessa superficie. Sono comprese aree miste, ma non associate, di colture temporanee e permanenti quando queste ultime coprono meno del 25% della superficie totale.</p> <p><i>2.4.2. Sistemi colturali e particellari complessi.</i> Mosaico di Appezamenti singolarmente non cartografabili con varie colture temporanee, prati stabili e colture permanenti occupanti ciascuno meno del 75% della superficie dell'elemento cartografato.</p> <p><i>2.4.3 Aree prevalentemente occupate da coltura agrarie con presenza di spazi naturali importanti.</i> Le colture agrarie occupano più del 25% e meno del 75% della superficie totale dell'elemento cartografato.</p> <p><i>2.4.4 Aree agroforestali</i></p>

2.4.4.3.4 Le immagini satellitari

Per la realizzazione del progetto CASI 3 sono stati utilizzati dati multispettrali (quale ausilio all'interpretazione tematica dell'uso del suolo) derivanti dai sensori satellitari per il telerilevamento del sistema Thematic Mapper (TM) dei satelliti Landsat.

I criteri seguiti nella selezione delle immagini sono stati i seguenti:

- momento della ripresa (per un'immagine), quanto più possibile prossimo a quello delle riprese fotogrammetriche utilizzate per le ortofoto nelle singole regioni, e in funzione dei periodi di massima copertura vegetale;
- copertura nuvolosa e al suo tipo (sparso o concentrato), non superiore in ogni caso, per le aree irrigue e con attitudine all'irrigazione, al 10%;
- fase fenologica delle colture irrigue presenti nelle Regioni italiane Obiettivo 1

Tabella 8 - Periodi di riferimento per la scelta delle immagini satellitari (il primo periodo corrisponde a quello in cui è stato effettuato il volo; almeno una delle tre immagini è stata scelta nell'anno 1998 preferibilmente nel periodo ottobre - novembre; la terza immagine è riferita al restante periodo vegetativo).

REGIONE	1° periodo (volo ortofoto AGEA)	2° periodo	3° periodo
ABRUZZO	luglio '97	marzo - maggio	ottobre - novembre
BASILICATA	giugno '97	marzo - aprile	ottobre - novembre
CALABRIA	agosto '96	aprile - giugno	ottobre - novembre
CAMPANIA	maggio '97	luglio - agosto	ottobre - novembre
MOLISE	maggio '97	luglio - agosto	ottobre - novembre
PUGLIA	luglio '97	marzo - maggio	ottobre - novembre
SARDEGNA	maggio e luglio '97	marzo - aprile	ottobre - novembre
SICILIA	agosto '97	aprile - giugno	ottobre - novembre

Non è stato possibile rispettare completamente i precedenti criteri per tutte le immagini da acquisire; in particolare per alcune zone delle regioni Puglia, Basilicata, Calabria e Sardegna per la stagione autunnale si sono dovute utilizzare immagini acquisite nel 1993.

Le immagini sono state acquistate "system corrected" per cui non sono state effettuate particolari operazioni di pre - processing. Alle immagini telerilevate selezionate è stato applicato un procedimento di correzione geometrica, con un elevato numero di punti di controllo (Ground Control Point - GCP), al fine di garantire un'adeguata corrispondenza della geometria delle immagini satellitari con quella dell'ortofoto digitale.

L'accuratezza della georeferenziazione è stata calcolata con l'errore quadratico medio RMSE (Root Mean Square Error), che, per tutte le immagini georeferenziate, è risultato sempre inferiore al pixel (inferiore a 30 m).

Una volta effettuata la rettificazione, si è ricorso a delle tecniche che consentano di assegnare ai pixel dell'immagine corretta dei valori radiometrici derivati da quelli contenuti sulla mappa digitale originaria. In particolare è stato utilizzato l'algoritmo prossimo più vicino (nearest neighbor), in quanto con questo algoritmo i valori originali di radianza vengono mantenuti in maniera abbastanza fedele, inoltre le relazioni tra i pixel delle varie bande rimangono inalterate, consentendo più accurate operazioni nei rapporti tra bande.

2.4.4.3.5 Materiali ancillari

Nella realizzazione del database CASI 3 sono state utilizzate numerose informazioni di tipo ancillare (documentazione cartografica, fotografica, di dati statistici di supporto all'interpretazione delle immagini satellitari), descritte nei seguenti paragrafi.

Carte topografiche

La carta topografica d'Italia I.G.M.I. in scala 1:100.000 è stata necessaria per:

- l'inquadramento generale dell'area di studio;
- delimitazioni e quadri d'unione (immagini, ortofoto, ecc.);
- suddivisione delle unità lavorative.

Tale suddivisione è stata utilizzata anche in fase elaborativa (interpretazione, digitalizzazione, elaborazione, ecc.) e come riferimento per i controlli e le procedure di costruzione topologica a cui è poi seguita la mosaicatura.

Ortofoto

Caratteristiche principali: Le ortofoto digitali prodotte dall'AGEA costituiscono un supporto ancillare di fondamentale importanza nella realizzazione del progetto.

Tabella 9 - Caratteristiche delle ortofoto.

Caratteristiche delle riprese aeree	Caratteristiche delle ortofoto
scala media dei fotogrammi 1: 40.000	ogni ortofoto copre 1 sezione cartografica in scala 1:10.000 (1/16 dei fogli 1:50.000 della cartografia I.G.M.I.)
quota media : 6.000 m circa	per ogni sezione sono prodotti 2 file : 1 in formato .tif contenente l'immagine in tono di grigio, 1 con estensione .tfw contenente i parametri geografici (coordinate Gauss - Boaga del punto in alto a sinistra, dimensioni del pixel)
focale camera da presa : 150 mm	risoluzione geometrica: 1 metro
formato utile dell'immagine 230 x 230 mm	superficie coperta dalla singola ortofoto: 4.500 ha

Al fine di poter usufruire del contenuto geometrico – informativo delle ortofoto digitali sono state compiute le seguenti operazioni:

1. Riproiezione dal sistema di riferimento Gauss – Boaga al sistema di riferimento adottato nella prima fase, che è UTM ED50 (fuso 32 per la Sardegna, fuso 33 per le restanti Regioni obiettivo 1).

2. Quadro di unione: si è provveduto alla sua costruzione, mediante la scrittura di un apposito software, che leggendo le coordinate x, y minime e massime (archivate in file *.dbf preparato utilizzando ArcInfo e ArcView) dell'immagine traccia un rettangolo sull'intera immagine. Il file di output è in formato dxf e come “annotazione” scrive il nome della relative ortofoto.

3. Mosaicatura: per ovviare alla “pesantezza” informatica dei file (in media 45 Mb per sezione) e poter disporre delle ortofoto in continuo sullo schermo, si è utilizzato il compressore di immagini Enhanced Compression Wavelet (ECW) distribuito da ER MAPPER, che consente la mosaicatura ed il bilanciamento dei toni di un numero elevato di ortofoto, ed il contemporaneo aumento della velocità di visualizzazione evitando tecniche (quali il ricampionamento) che comportano un decadimento della qualità dell'immagine.

Nell'ambito della realizzazione della cartografia di uso/copertura del suolo le ortofoto sono state utilizzate nelle seguenti attività:

- correzione geometrica della immagini (identificazione dei GCP) e verifica dell'accuratezza della correzione (tramite TCP);
- nella fase di video – interpretazione, in cui hanno costituito la base geometrica su cui sono stati digitalizzati i poligoni delle classi di uso/copertura del suolo;
- ausilio alla identificazione delle classi di difficile interpretazione sull'immagine satellitare in falsi colori (in particolare per quanto riguarda le colture permanenti);
- verifica e collaudo finale della mappatura dell'uso/copertura del suolo.

Carte di uso/copertura del suolo

A supporto della fase interpretativa, sono stati usati alcuni dei supporti cartografici presenti nelle Regioni obiettivo 1. In particolare, CLC è stata usata in tutto l'area di studio, ed in

particolare per le coperture: aree urbane, zone boscate, zone umide e bacini d'acqua. Il supporto è stato di tipo esclusivamente tematico, in quanto le geometrie di CORINE hanno un'accuratezza decisamente inferiore a quella CASI 3.

Per quanto riguarda le cartografie regionali, si è potuto farne un uso limitato, ed in particolare:

- Abruzzo: la carta di uso del suolo 1:25.000 del 1998;
- Molise: è stato utilizzato il data base geografico sull'uso del suolo, derivato da CTR alla scala 1 :5.000, soprattutto nella definizione delle geometrie;
- Sicilia: la carta di uso del suolo del 1993 è risultata di estrema utilità nell'individuazione di serre e arboreti;
- Sardegna: carta dell'uso del suolo in scala 1:25.000 di recente realizzazione (2003), validata e testata dalla Regione Sardegna.

Dati amministrativi dei Consorzi sugli investimenti colturali e sui limiti delle aree irrigue

La disponibilità di dati amministrativi dei Consorzi di Bonifica relativi agli ordinamenti colturali irrigui praticati all'interno dei Consorzi e dei dati cartografici sulla localizzazione delle aree attrezzate per l'irrigazione è risultata essere di estrema utilità ai fini dell'individuazione dell'arboricoltura irrigua e all'individuazione delle diverse tipologie di seminativo irriguo.

2.4.4.3.6 Interpretazione della copertura estiva sulla base delle ortofoto e immagini in falso colore

La cartografia di uso/copertura del suolo è stata realizzata grazie all'interpretazione a video delle immagini satellitari e la creazione, mediante digitalizzazione sulle stesse immagini, delle BD poligonali relative all'uso del suolo. La digitalizzazione a video sulla base delle ortofoto con supporto interpretativo fornito dalle immagini satellitari ha permesso di conseguire un'adeguata correttezza geometrica. L'interpretazione è stata prevalentemente realizzata da tecnici locali allo scopo di sfruttare operatori con migliori conoscenze del territorio. E' risultata importante la possibilità di effettuare ricognizioni di controllo in loco per i casi dubbi, altrimenti non risolvibili. La fase iniziale di interpretazione è stata svolta sulle immagini relative alla data estiva (periodo di maggiore utilizzazione delle risorse irrigue, maggiore separabilità tra aree irrigate e non, migliore discriminazione tra aree vegetate e non, ecc.). L'interpretazione ha implicato:

- creazione ed editing di una BD di tipo polyline per regione
- supporto per la geometria: ortofoto AGEA
- interpretazione di supporto: immagine Landsat 5 TM – sintesi RGB falso colore 4.3.2., 4.5.3 o 5.4.2
- BD di controllo: Corine Land Cover, limiti zone irrigate e/o potenzialmente irrigue, cartografia zone consortili attrezzate, tabelle e statistiche per consorzio/comune/ecc.

La procedura interpretativa si basa su più "step" successivi in modo da individuare via via le classi con sempre maggiore dettaglio:

- individuazione e delimitazione delle aree non comprese tra quelle irrigue e/o con attitudine all'irrigazione (in base alla cartografia e ai dati suddetti) per le quali la codifica si ferma al primo livello Corine Land Cover (1 - aree urbanizzate, 3 - aree naturali, 4 - zone umide, 5 - corpi d'acqua);
- discriminazione tra colture arboree, seminativi e aree miste – classe 2 = aree agricole (2° livello Corine Land Cover – 21 = terre arabili, 22 = colture permanenti arboree, 23 = prato e 24 = aree agricole eterogenee);
- discriminazione tra seminativi sicuramente non irrigui e irrigui; in particolare per quanto riguarda la zona di studio sono stati classificati come seminativi non irrigui tutti gli appezzamenti coltivati a colture autunno - vernine (sia nelle immagini estive che nelle ortofoto tali colture risultano già trebbiate e in parte con il terreno già arato). A questo

livello si riscontra una notevole discrepanza rispetto alla classificazione Corine Land Cover, per la quale la separazione tra colture irrigue e non irrigue è basata non sulla effettiva irrigazione ma sul tipo di irrigazione ovvero: sono considerate irrigue (codice 212) solo le colture permanentemente irrigate tramite allagamento e pertanto non rientra in tale classe l'irrigazione a pioggia;

- separazione all'interno della classe "irriguo".

2.4.4.3.7 Indagini di campagna

Le indagini di campagna si sono rese necessarie specialmente per la discriminazione tra alcune classi, in particolare le colture arboree irrigue e non irrigue. In totale sono stati effettuati rilievi su 166.500 ha. Al controllo dell'interpretazione ed alla segnalazione d'errori hanno inoltre contribuito la struttura interna e periferica dell'INEA e i Consorzi di Bonifica.

2.4.4.3.8 Attribuzione della classe primaverile - autunnale sulla base geometrica della copertura estiva

La BD estiva, una volta controllata, è stata utilizzata come base per le altre due stagioni, autunno e primavera; si è cercato pertanto di modificare il meno possibile la geometria operando con modifiche relative a:

- Codifica del poligono
- Suddivisione del poligono
- Accorpamento di poligoni
- Forma del poligono

2.4.4.3.9 Sintesi delle tre coperture per stagione irrigua e classi di copertura

Una volta disponibili le BD relative alle diverse stagioni, attraverso un apposito script in AML, si è costruita la banca dati di sintesi delle tre stagioni, denominata PEA (Primavera – Estate – Autunno). Attraverso tale banca dati è possibile estrarre le aree in cui è stata riscontrata la presenza dell'irrigazione ed il periodo in cui questa è applicata.

2.4.4.3.10 Data base sui metadata

La registrazione dei lavori è stata suddivisa e applicata per Unità di Lavorazione, che coincide con una tavola I.G.M.I. alla scala 1:100.000. Per ogni Unità di Lavorazione sono state compilate delle schede relativamente alla registrazione dei:

- Dati di input
- Processi
- Controlli

Le schede di registrazione dei dati di input contengono le seguenti informazioni:

- Localizzazione geografica - Numero e nome del foglio I.G.M.I. 1:100.000 e le coordinate dei vertici
- Riferimenti all'ortofoto - data di ripresa e di rettificazione, ecc.
- Riferimenti all'immagine da satellite - numero, path e row della scena, data di acquisizione, pre - elaborazioni, ecc.
- Riferimenti ad altri dati raster
- Riferimenti a banche dati vettoriali

2.4.4.3.11 Collaudo in corso d'opera e validazione finale

La banca dati così ottenuta è stata sottoposta a collaudo (al fine di verificare la qualità dell'interpretazione tematica e della precisione geometrica), sul 3% della superficie oggetto del lavoro, secondo le seguenti modalità:

1. Dalla copertura CASI 3 sono stati estratti in modalità casuale con procedura automatica, attraverso la scrittura di un apposito software, i campioni – stratificati per operatore che ha effettuato l'interpretazione e per dimensione di superficie – da sottoporre a controllo e ripartiti in percentuale, definita rispetto all'importanza ai fini irrigui:

- 5% per la classe 211 – Seminativi non irrigui
- 30 % per la classe 212 – Colture erbacee e orticole da pieno campo
- 10% per la classe 221 - Vigneti
- 5% per classe 222 - Frutteti
- 30% per la classe 223 - Oliveti
- 20 % per le classi 241, 242, 243 – Classi miste

2. I campioni così estratti sono stati verificati a video e classificati nel modo seguente:

- S = Sì
- N = No
- D = Dubbio
- NG = geometria sbagliata, traslata o da rivedere (classi diverse suddivisibili)
- DG = dubbi geometrici, imperfezioni.

3. Sono stati controllati in campo, attraverso la stampa dell'ortofoto su cui il campione ricade, tutti i campioni dubbi, parte dei campioni sì e parte dei campioni no. Inoltre il collaudatore in campo ha esaminato anche dei poligoni adiacenti a quello selezionato per il controllo.

Accuratezza statistica delle classi di uso del suolo

I risultati dei vari collaudi – anche in seguito al rifacimento dell'interpretazione laddove l'esito è stato negativo - hanno evidenziato che la cartografia prodotta è rispondente ai requisiti tecnici previsti dal capitolato:

- Errore tematico <3%
- Errore geometrico <30 metri

Inoltre, i dati relativi ai collaudi sono stati organizzati a livello regionale al fine di poter effettuare delle elaborazioni statistiche sulla qualità della classificazione di uso del suolo effettuata.

Per ciascuna regione è stata costruita una matrice di errore (o tavola di contingenza) a 2 dimensioni, che riporta sulle colonne i dati di riferimento – “verità a terra” derivate dalle operazioni di collaudo – e sulle righe le classi di uso del suolo ottenute dalla classificazione.

Per il calcolo del numero di campioni necessario alla costruzione della matrice per validare la cartografia si ricorre alla formula di Snedecor e Cochran (1980):

$$N = \frac{t^2 * p(1-p)}{E^2}$$

dove:

N = numero delle osservazioni;

p = accuratezza attesa espressa in percentuale;

t (di Student) = 1,96, se accettiamo il 95% di confidenza nella stima dell'accuratezza;

E = errore percentuale massimo ammesso nella stima.

L'accuratezza della cartografia è stata calcolata con l'indice K o Khat (coefficiente di accordo) di Cohen (1980), tecnica dell'analisi multivariata. Il coefficiente K misura la corrispondenza tra la cartografia ottenuta per fotointerpretazione ed i dati di riferimento. Il valore di K è calcolato tramite la seguente formula (Cohen, 1960; Bishop, 1975):

$$K = \frac{Q_1 - Q_2}{1 - Q_2}$$

$$Q_1 = \sum_{i=1}^r N_{ii} / N$$

$$Q_2 = \sum_{i=1}^r N_{i+} * N_{+i} / N^2$$

dove:

r = numero totale delle righe e delle colonne della matrice;

nii = numero totale delle osservazioni lungo la diagonale;

ni+ = numero delle osservazioni lungo la riga;

n+i = numero delle osservazioni lungo la colonna;

N = numero totale delle osservazioni.

L'indice K, variabile da zero a uno è sensibile agli errori di inserimento (o commissione) e omissione. Infatti in una distribuzione assolutamente casuale degli elementi nella matrice l'indice K è uguale a zero, mentre quando tutti i punti sono correttamente classificati cioè si dispongono tutti lungo la diagonale è uguale ad uno. Se invece gli elementi si distribuiscono in maniera non casuale, e cioè preferenzialmente non sulla diagonale, K assume dei valori negativi (Cohen, 1960).

Per il calcolo dell'indice K è stato scritto un apposito software, in cui dati di input sono rappresentati dalla matrice in formato *.txt, che calcola l'indice e i relativi coefficienti della formula. I valori degli indici K non sono mai inferiori a 0,8, fatta eccezione per la Puglia. Nella tabella seguente si riporta un esempio di matrice di errore per la Regione Abruzzo.

Tabella 10 – matrice di errore nella Regione Abruzzo.

Classi uso del suolo	Classi di verità a terra													Totale campioni
	211	2121	2123	2211	2212	2221	2222	2231	2232	232	242	243	3	
211	7	2	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	12
2121	2	56	1	0	1	0	0	0	2	2	0	0	0	64
2123	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2211	0	0	0	7	3	0	0	0	0	0	0	0	0	10
2212	0	2	0	2	9	0	0	0	0	0	0	0	0	13
2221	1	2	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	5
2222	0	0	0	0	0	0	4	0	1	0	0	0	0	5
2231	0	0	0	0	0	0	0	0	2	2	0	0	0	4
2232	5	3	0	0	1	0	0	0	50	0	0	0	2	61
232	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
242	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	3
243	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	33	2	38
3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Totale campioni	15	65	2	9	15	2	4	0	55	7	3	33	5	215

$$K = 0,7945$$

2.4.4.4 Integrazione della banca dati CASI 3 con le esigenze del progetto Atlante Desertificazione

Come è stato descritto nei paragrafi precedenti, la nomenclatura CASI 3 è espressamente orientata all'agricoltura irrigua, con approfondimento fino al IV° livello della legenda CORINE per la classe 2 (territori agricoli), mentre per alcune classi (in particolare aree artificiali ed aree boscate e semi - naturali) il dettaglio dell'interpretazione è rimasto al primo livello.

Tabella 11 - Struttura del sistema di nomenclatura.

LEGENDA CASI 3		LEGENDA CORINE	
Aree urbane	111	111	Tessuto urbano continuo
		112	Tessuto urbano discontinuo
		124	Aeroporti
		141	Aree verdi urbane
		142	Aree sportive e ricreative
Aree industriali	121	121	Aree industriali o commerciali
		123	Aree portuali
Cave/Discariche/Cantieri	131	131	Aree estrattive
		132	Discariche
		133	Cantieri
Seminativi non irrigui	211	211	Seminativi non irrigui
Seminativi irrigui	212	212	Seminativi irrigui
Risaie	213	213	Risaie
Vivai	214		
Serre	215		
Vigneti	221	221	Vigneti
Frutteti	222	222	Frutteti
Oliveti	223	223	Oliveti
Prati e pascoli	231	231	Prati stabili
		321	Pascolo naturale
		324	Aree a veg. Boschiva e arbustiva in evoluzione
Colture temporanee associate a permanenti	241	241	Colture temporanee associate a permanenti
Sistemi colturali complessi	242	242	Sistemi colturali complessi
Aree agricole con spazi naturali	243	243	Aree agricole con spazi naturali
Aree agroforestali	244	244	Aree agroforestali
Boschi	31	311	Boschi di latifoglie
		312	Boschi di conifere
		313	Boschi misti
		324	Aree a veg. Boschiva e arbustiva in evoluzione
Macchia mediterranea	323	322	Brughiere e cespuglieti
		323	Aree a vegetazione a sclerofille
		324	Aree a veg. Boschiva e arbustiva in evoluzione
Macchia degradata	325		
Roccia nuda/Spiagge/Veg. rada	331	331	Spiagge, dune, sabbie
		332	Roccia nuda
		333	Aree con vegetazione rada
Aree umide	4	411	Paludi interne
		412	Torbiere
		421	Lagune interne
		422	Paludi
		423	Saline
		424	Zone intertidali
Corpi idrici	5	511	Corsi d'acqua
		512	Bacini d'acqua

Al fine di adattare la nomenclatura utilizzata alle finalità del progetto “Atlante Desertificazione”, si è proceduto alla reinterpretazione (utilizzando la stessa tecnica descritta nel CASI 3) dei livelli 1 e 3, introducendo nel sistema di nomenclatura le seguenti classi:

- Aree urbane: comprendono tessuto urbano continuo e discontinuo, aeroporti, aree verdi urbane ed aree sportive e ricreative
- Aree industriali: le aree industriali vere e proprie e le aree portuali
- Cave/Discariche/Cantieri: riunisce le tre classi separate nella Corine
- Prati e pascoli: ingloba i prati stabili e le aree a pascolo naturale e parte della classe “aree a vegetazione boschiva ed arbustiva in evoluzione”
- Boschi: non viene fatta distinzione tra latifoglie, conifere e misti. Comprende anche parte della classe “aree a vegetazione boschiva ed arbustiva in evoluzione”
- Macchia mediterranea: riunisce tutte le zone a cespuglieti ed arbusteti, le aree a vegetazione a sclerofille e parte della classe “aree a vegetazione boschiva ed arbustiva in evoluzione”
- Roccia nuda/Vegetazione rada/Spiagge: riunisce le tre classi separate nella Corine
- Aree umide: raggruppa paludi e lagune interne, saline, torbiere e zone intertidali
- Corpi idrici: corsi e bacini d’acqua

2.4.5 Banche dati delle misure agroambientali

Un obiettivo che ci si posti nella realizzazione del progetto, è stato quello di valutare l’effetto di mitigazione sui processi di degradazione del suolo dovuto all’applicazione delle politiche agroambientali previste dalla Politica Agricola Comune (PAC). È stato per questo definito un Indice di Risposta delle Misure Agroambientali (IRMA), cercando di individuare gli interventi e le misure maggiormente correlate alla protezione del suolo, soprattutto per quanto riguarda le superfici investite a seminativo.

La politica europea, in materia d’agricoltura compatibile, ha trovato la sua applicazione con il Reg. 2078 del 1992, ora sostituito dal Reg. 1257 del 1999. Il regolamento sulle misure agroambientali (Reg. CEE 2078/92), sostituito dalla misura F nei piani di Sviluppo Rurale (Reg. CEE 1257/99), ha come obiettivo quello di favorire vari interventi volti ad incentivare metodi di produzione a basso impatto ambientale e a migliorare la conservazione delle risorse naturali nelle aree rurali.

Il regolamento CEE n. 1257 del 1999 è stato scarsamente applicato nelle zone del centro - sud, mentre intere regioni del meridione non hanno ancora riattivato le azioni sviluppate con il 2078. Pertanto, si è scelto di prendere in considerazione il solo reg. 2078. Tale regolamento è articolato in una serie di misure, sottomisure ed interventi che definiscono le tipologie di attività applicabili nei diversi contesti culturali. La configurazione della banca dati ha previsto le seguenti fasi:

- reperimento dei dati relativi all'applicazione di tale regolamento: tali dati sono stati forniti dall’AGEA (Agenzia per le Erogazioni in agricoltura), attraverso la società Agrisian, organizzati in tabelle che, per ciascun comune, forniscono gli ettari liquidati per le varie misure ed il numero dei beneficiari;
- selezione degli interventi ritenuti mitiganti nei confronti dei processi di degradazione dei suoli.

2.4.6 Banche dati sul pascolamento

Nel corso degli ultimi dieci anni si è assistito in Italia ad una riduzione generale del patrimonio zootecnico e ad una sempre più forte attività di allevamento intensivo. Ciò ha modificato l’uso del territorio: in pianura si assiste a fenomeni di inquinamento ambientale dovuto alla necessità di smaltimento delle deiezioni animali su superfici troppo limitate, mentre in aree collinari e montane marginali si assiste ad un più incisivo ricorso all’utilizzo di aree pascolative, limitato a quelle di più facile accesso e meglio servite da acqua e strade. Su tali aree,

l'eccessivo carico di animali porta a fenomeni di degrado della vegetazione, compattamento ed erosione dei suoli, che nelle aree più vulnerabili innescano veri e propri processi di desertificazione.

All'interno del progetto "Atlante del rischio di desertificazione" si è studiata una metodologia per definire un indicatore di stato ed il relativo indice di impatto, attraverso i quali stimare l'incidenza dell'intensità di pascolamento nelle aree destinate a pascolo. L'indicatore prende in considerazione il numero di capi bovini (compresi i bufalini) e ovicapri totali per unità di superficie, e si articola nei due seguenti valori:

- Indicatore di Pascolamento Attuale (IPA), definisce il carico animale effettivo - espresso in UBA - sulla superficie destinata a pascolo
- Indicatore di Pascolamento Sostenibile (IPS), definisce il carico animale sostenibile - espresso in UBA - sulla superficie destinata a pascolo.

L'Unità Bovino Adulto (UBA) è calcolata sulla base di un indice di conversione: 1 bovino di età superiore ai due anni è pari a 1 UBA; 1 ovicapri di oltre un anno o con almeno un parto è pari a 0,15 UBA.

Dal confronto tra i due valori dell'indicatore è stato definito l'indice d'impatto denominato Indice di Intensità di Pascolamento (IIP).

In queste pagine viene descritto il lavoro svolto per la raccolta e configurazione dei dati di base utilizzati nella definizione dell'indicatore di stato (IPA e IPS) e dell'indice di impatto (IIP), mentre nelle successive ne sarà descritta la metodologia di calcolo.

I dati necessari alla configurazione dei suddetti indicatori ed indici sono i seguenti:

1. Composizione floristica e produzione dei pascoli
2. Numero di capi (distinti per le diverse specie zootecniche) presenti sulle aree a pascolo
3. Periodo di permanenza dei capi sui pascoli e loro fabbisogno alimentare

2.4.6.1 Composizione floristica e produzione dei pascoli

Qualsiasi superficie di terreno la cui produzione naturale di biomassa sia direttamente utilizzata in campo dagli animali costituisce, dal punto di vista agronomico, un pascolo. La destinazione a pascolo può essere temporanea (pascoli saltuari) o permanente. La saltuarietà della destinazione a pascolo di un terreno presuppone sia una precedente, sia una futura destinazione colturale. Spesso si tratta di seminativi abbandonati o di terreni lasciati a riposo. I pascoli permanenti non hanno altra destinazione se non quella di forestazione naturale o artificiale a causa di limitazioni di varia natura: eccessiva pendenza, scarsa profondità dei terreni, rocciosità affiorante, presenza di copertura arborea. I pascoli sono normalmente classificati nelle seguenti tipologie:

- pascoli saltuari, in genere sfalciabili (possono essere destinati alla produzione di fieno)
- pascoli permanenti:
 - sfalciabili (possono essere destinati alla produzione di fieno)
 - non sfalciabili

Nella scala evolutiva agronomica i pascoli saltuari precedono, nell'ordine, i pascoli permanenti sfalciabili, ed i non sfalciabili.

Nei pascoli convivono specie vegetali erbacee, arbustive e arboree. L'insieme delle piante erbacee presenti costituisce la cotica erbosa formata da specie ascrivibili a numerose famiglie botaniche. In termini ponderali, l'apporto più consistente dato alla biomassa è attribuibile ad un numero contenuto di famiglie: il 75% è composto da tre famiglie botaniche (i dati medi a disposizione riportano un peso percentuale del 45% di graminacee, del 20% di leguminose, 10% di composite). Le graminacee sono la famiglia più rappresentata e quindi quella che dà l'apporto ponderale maggiore alla produzione di biomassa. Le leguminose offrono caratteristiche di maggior pregio dal punto di vista nutrizionale.

In senso generale, è considerata pabulare, qualsiasi specie vegetale utilizzabile come fonte alimentare dagli animali al pascolo. Tuttavia non tutte le specie presenti in un pascolo sono utilizzate indistintamente dalle varie specie di animali. Per cui, il concetto di pabularità è riferito,

prevalentemente, agli ovini ed ai bovini. Così i termini derivati di “parzialmente pabulare” e “non pabulare”. I fattori che governano le variazioni della composizione floristica delle cotiche naturali sono il clima, la natura del terreno e la pressione di pascolamento. Dal punto di vista agronomico, uno degli elementi differenziali maggiori, tra flora dei pascoli alpini e quella dei pascoli dell’Italia centrale, meridionale ed insulare, si riferisce alla diversa frequenza di specie poliennali ed annuali. Nei pascoli alpini dominano le specie poliennali sulle annuali; nei restanti pascoli prendono via via il sopravvento le specie annuali sulle poliennali, passando dall’Italia centrale a quella meridionale ed insulare (aree a clima mediterraneo, caratterizzate da carenze di precipitazioni nel periodo primaverile - estivo). L’azione del pascolamento incide in maniera selettiva sulla composizione floristica ed in condizioni di equilibrio (giusto rapporto tra numero di animali al pascolo e superficie della cotica erbosa) ne conserva la struttura originaria.

La produzione dei pascoli viene valutata sulla base dei seguenti elementi:

- produzione totale complessiva annua;
- distribuzione stagionale della produzione totale;
- ritmo d’accrescimento riferito all’unità di superficie (ettaro) e all’unità di tempo (giorno);
- coefficiente di utilizzazione, espresso come percentuale fra biomassa pabulare effettivamente utilizzata dagli animali al pascolo e biomassa pabulare presente e utilizzabile prima del pascolamento.

I parametri più utilizzati per quantificare la produzione sono:

- produzione di erba fresca in q/ha/anno;
- produzione di sostanza secca in q/ha/anno;
- produzione di U.F. (unità foraggiere)/ha/anno (UF = valore nutritivo di un kg di orzo o di 2,5 kg di fieno normale, di prato stabile, ricco di *Phleum pratense* e di altre essenze graminacee).

In linea generale, per i diversi tipi di pascoli ed in rapporto alle diverse condizioni climatiche, si possono stabilire la durata del periodo vegetativo e della stasi vegetativa, come dalla tabella seguente:

Tabella 12 - Caratteristiche dei pascoli in Italia.

Tipologia pascoli	Altitudine	Durata del periodo vegetativo	Durata della stasi vegetativa
P. alpini	quote elevate	Luglio - agosto	Settembre - giugno
P. alpini	quote basse	Giugno - settembre	Ottobre - maggio
P. appenninici	quote elevate	Maggio - settembre	Ottobre - aprile
P. appenninici	quote basse	Maggio - ottobre	Novembre - aprile
P. meridionali e insulari	quote elevate	Aprile - giugno	Luglio - marzo
P. meridionali e insulari	quote basse	Marzo - maggio; ottobre - dicembre	Giugno - settembre; gennaio - febbraio

Nei pascoli alpini e, in generale, nelle zone altimetriche più elevate, si hanno accrescimenti nulli o fortemente limitati, nei mesi dall’autunno alla primavera, per il persistere di temperature molto inferiori alla soglia critica di vegetazione.

Nei pascoli dell’Italia meridionale ed insulare si hanno accrescimenti nulli nei mesi estivi, per il protrarsi dei deficit pluviometrici. La conoscenza delle produzioni ottenibili per ettaro e per giorno è il parametro più valido per determinare i turni di pascolamento.

Gli accrescimenti giornalieri accumulati danno la produzione complessiva stagionale o annua per ettaro.

Il momento della massima estrinsecazione della produzione coincide con il più basso valore nutritivo, poiché avanza la fase riproduttiva con il conseguente accumulo di sostanze negli organi riproduttori, a scapito degli altri organi vegetativi, nei quali aumenta il contenuto percentuale in fibra.

Questo si riflette sull’azione selettiva degli animali che, se portati al pascolamento in fase avanzata della vegetazione rifiuteranno le specie e le parti più lignificate preferendo le specie più

tardive e tenere, realizzando sprechi elevati a discapito di un utilizzo razionale del pascolo, il quale misurerebbe un coefficiente di utilizzazione inferiore al suo potenziale.

Gli accrescimenti giornalieri superano, nelle condizioni più favorevoli, e limitati a periodi molto brevi (mesi di maggio e giugno), i 2 quintali per ettaro di sostanza secca. Nelle condizioni più sfavorevoli, ed all'inizio della fase vegetativa, registrano produzioni bassissime, anche inferiori ad un kg di sostanza secca per ettaro.

Nelle condizioni più favorevoli, considerando il momento ottimale di immissione al pascolo, (coincidente il periodo in cui le specie pabulari sono ancora in fase giovanile), possiamo stimare una produzione media per ettaro (limitata ai mesi di maggio e giugno), di 27 quintali di sostanza secca, corrispondenti ad un valore medio di U.F. pari a 1.517 (57 unità al quintale).

All'inizio della fase vegetativa, nel mese di aprile, si registrano produzioni medie di 10 quintali per ettaro di sostanza secca, corrispondenti ad un valore medio di U.F. pari a 790 (79 unità al quintale).

Possiamo ricavare il dato medio sulla produttività dei pascoli italiani, considerando tutte le condizioni e gli ambienti possibili, dalle aggregazioni effettuate dal MiPAF, sulla base dei dati provinciali pervenuti dalle Regioni o stimati dall'ISTAT. Tali aggregazioni riportano, per le colture foraggere permanenti, i dati delle unità foraggere totali distinte per classe di coltura (prati e pascoli) differenziando per i pascoli quelli poveri dalle altre tipologie. La tabella seguente mostra il dato medio, sulla quantità di U.F./ettaro, ricavato dai dati a disposizione.

Tabella 13 - Produzione delle diverse tipologie di pascolo (= dato medio).*

	<i>Superficie</i> totale (ha)	<i>Superficie</i> in produzione (ha)	<i>Produzione</i> totale (q.li)	<i>U.F.</i>	<i>U.F./ettaro</i>
Foraggere permanenti	4.378.907	4.153.325	246.319.000	3.494.277.000	841*
1. Prati	949.601	898.496	155.013.000	2.232.186.000	2.484
2. Pascoli	3.429.306	3.254.829	91.306.000	1.262.091.000	388
- Altri pascoli	2.028.513	1.978.411	58.172.000	930.759.000	470
- Pascoli poveri	1.400.793	1.276.418	33.133.000	331.332.000	260

Il dato in oggetto è calcolato considerando il rapporto tra la totalità della produzione di U.F. delle foraggere permanenti e la superficie totale relativa: misura un valore di 841 unità e si discosta leggermente dal valore minimo (+ 6,5%), compatibile con la produzione dei pascoli nei periodi di più ridotte disponibilità, così come ricavato dallo studio della "evoluzione quantitativa e qualitativa della produzione dei pascoli" elaborata da vari autori e sopra riportato per il mese di aprile (790 U.F./ettaro).

2.4.6.2 Numero di capi presenti sulle aree a pascolo

Tale dato non risulta essere disponibile, per cui si sono utilizzati i dati forniti dall'ISTAT sulla consistenza degli allevamenti (V censimento dell'agricoltura - 2000), organizzati per numero di capi (bovini, bufalini, ovini, caprini) sull'intera superficie comunale.

2.4.6.3 Periodo di permanenza dei capi sui pascoli e loro fabbisogno alimentare

Anche in questo caso non ci sono dei dati specifici per le diverse realtà interessate dall'area di studio, pertanto dall'analisi della letteratura esistente si sono definiti i seguenti parametri:

- per i bovini si è considerato una durata giorni del pascolamento di 90 giorni, mediato tra i 60 giorni del pascolo alpino e i 90-120 giorni del pascolo appenninico (l'intervallo aumenta sui pascoli meridionali);
- per gli ovicaprini si è considerato una durata giorni del pascolamento di 180 giorni, corrispondente alla durata media delle concessioni concernenti l'attività pascolativa nelle varie zone d'Italia, tra l'altro il dato coincide con l'impegno minimo che l'azione concernente l'aiuto ai sistemi pascolativi estensivi (misure agroambientali - reg. CE 1275/99) indica come vincolo al ricevimento del premio.

Anche nel caso della stima del fabbisogno alimentare delle diverse specie zootecniche, essendo questo molto variabile in funzione di numerosi parametri (età, peso corpo, accrescimento ecc.) si è cercato di individuare, dall'analisi dei dati in letteratura, un valore medio. Tale valore è stato definito in 5 UF/giorno/UBA.

2.4.7 Banche dati degli incendi forestali

La banca dati delle mappe delle aree incendiate proviene dal progetto ITALSCAR, condotto dall'Agenzia Spaziale Europea e da Telespazio. Per problemi legati alla divulgazione dei dati, è stato possibile utilizzare questa fonte solo per la regione Sardegna, mentre le altre regioni non sono risultate disponibili.

ITALSCAR contiene le mappe per l'intero territorio italiano per gli anni 1997-2000 per un totale di 264 immagini satellitari. Dopo un controllo di qualità, 255 di queste 264 immagini sono state utilizzate per la generazione delle mappe. Per mancanza di immagini valide, non è stato possibile acquisire il 2% delle coperture e questo ha comportato la impossibilità a generare le mappe delle aree bruciate nella Sardegna Occidentale negli anni 1997 e 1998.

ITALSCAR contiene le seguenti informazioni:

- la copertura dell'intero territorio italiano per gli anni 1997-2000,
- la delimitazione delle aree boschive,
- la copertura della stagione estiva (giugno-settembre)
- l'individuazione di aree con superficie minima pari ad 1 ettaro
- la associazione ad ogni area bruciata di un livello di confidenza
- l'utilizzo di informazioni al suolo (report dei Vigili del Fuoco e schede AIB del Corpo Forestale dello Stato),
- la validazione del prodotto tramite rilievi al suolo ad hoc in almeno 3 Province.

I prodotti ITALSCAR sono costituiti da una banca dati geografica contenente le perimetrazioni delle aree forestate che sono bruciate durante incendi estivi (Giugno – Settembre) sull'intero territorio italiano negli anni 1997-2000.

Le perimetrazioni delle aree bruciate sono fornite come dati georiferiti in formato vettoriale. In tutte le Regioni per ciascuno dei 4 anni è stato generato il Prodotto ITALSCAR Regionale.

2.4.8 Banche dati delle aree protette

La banca dati sulle aree protette è stata fornita all'INEA dal Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio, nell'ambito di uno specifico studio sull'agricoltura all'interno delle Aree Protette. Si tratta delle Aree Protette iscritte all'Elenco Ufficiale delle Aree Protette (EUAP).

Nella tabella seguente si riportano le tipologie di Area Protetta presenti nell'area di studio del progetto "Atlante desertificazione".

Tabella 14 – Superfici delle aree protette (fonte: Ministero dell’Ambiente e della Tutela del Territorio - Servizio conservazione natura - EUAP 2002).

	Parco nazionale	Riserva naturale statale	Parco naturale regionale	Riserva naturale regionale	Altre aree protette
Ettari	68.087	1.656	15.605	1.301	1.343

Le superfici riportate sono quelle presenti nella tabella degli attributi del file cartografico relativo alle Aree Protette - 5° aggiornamento Elenco ufficiale delle aree naturali protette (G.U. n. 214 del 12/09/02).

2.4.9 Banche dati delle immagini satellitari

Le immagini satellitari sono una preziosissima fonte d’informazione sull’ambiente e il territorio. Per il progetto sono state utilizzate immagini Landsat che coprono tutta l’area di indagine. Questo strumento è stato utilizzato per definire molte delle banche dati, degli indicatori e degli indici di rischio di desertificazione: i sottosistemi pedologici, l’uso del suolo, l’analisi delle aree naturali tramite NDVI e l’identificazione delle aree a sterilità funzionale per deposizione, oltre che per la fase di validazione. La risoluzione di queste immagini (30 metri) ha un dettaglio superiore alla scala dei lavori del progetto, e questo può portare a delle incoerenze fra gli indici elaborati con dati a scale diverse. Tutte le scene Landsat utilizzate sono state corrette con i coefficienti di calibrazione propri dei sensori, depurate dei disturbi atmosferici, georeferenziate e proiettate nel sistema di riferimento utilizzato dal progetto.

Tabella 15 – Scene Landsat utilizzate nel progetto.

Frame	Data
187032	03/07/1997
187033	30/06/1996
188031	10/07/1997
188032	10/07/1997
188033	07/07/1996
188034	10/07/1997
188035	10/07/1997
189031	20/07/1998
189032	20/07/1998
189034	02/08/1997
190030	27/07/1998
190030	09/08/1997
190031	estate/1998
190034	09/08/1997
191029	16/08/2000
191030	estate /1998
191031	estate /1998
192030	26/08/2001
192032	20/06/1997
192033	20/06/1997
193029	01/09/1992
193031	15/07/1992
193032	13/07/1997
193033	13/07/1997

Nella tabella 15 sono elencate le immagini LANDSAT TM della banca dati predisposta per il progetto.

Per quanto riguarda le aree coperte da nuvole, come immagini sostitutive sono state utilizzate, quando disponibili, le immagini autunnali o primaverili dello stesso anno; altrimenti sono state usate le seguenti immagini:

Tabella 16 – Scene Landsat sostitutive per le aree coperte da nuvole.

Frame	Data
191030	07/08/1988
191031	03/08/2001
192030	25/08/1992

2.4.10 Altre banche dati

Per il calcolo e la validazione degli indicatori e degli indici sono state utilizzate altre banche dati di base. Il modello digitale del terreno con risoluzione 20 metri è stato fornito dal MATT. Come riferimento geologico principale sono state considerate la Carta Geologica d'Italia 1:500.000 (Servizio Geologico Nazionale, 1972) e il "Structural model of Italy" 1:500.000 (CNR-PFG, 1991). Il drenaggio deriva dalle tavolette IGM a scala 1:25.000 elaborate dall'APAT. Per la topografia, il riferimento principale è stato il JOG. I limiti amministrativi sono quelli definiti dall'ISTAT. Il MATT ha fornito le ortofotocarte in bianco e nero. Si è fatto anche riferimento alle ortofotocarte a colori disponibili sul sito www.atlanteitaliano.it.

2.5 Individuazione dell'area di studio

La desertificazione è definita nella Convenzione delle Nazioni Unite sulla lotta contro la desertificazione il "degrado delle terre nelle aree aride, semi-aride e sub-umide secche". L'area di studio dovrebbe quindi coincidere con la parte del territorio Italiano che presenta clima arido, semi-arido o sub-umido secco. Porre dei limiti geografici basati solo sull'intervallo dell'indice di aridità che corrisponde a questi climi (rapporto fra le precipitazioni annuali e l'evapotraspirazione potenziale compreso fra 0,05 e 0,65), per quanto possa essere considerato un approccio valido a scala continentale, appare poco significativo alla scala di lavoro del progetto. Per delimitare l'area di studio alle sole aree potenzialmente a rischio di desertificazione sono state utilizzate differenti banche dati climatiche e pedoclimatiche. In primo luogo sono state analizzate le caratteristiche climatiche attribuite alle regioni pedologiche secondo la metodologia europea. Poi sono state prese in considerazioni le elaborazioni della banca dati pedoclimatica sui regimi d'umidità di temperatura dei suoli (Costantini et al., 2002) e l'indice di aridità calcolato applicando la metodologia di Hargreaves-Samani (1982). In particolare sono stati considerati a rischio i regimi di temperatura termico ed ipertermico se in associazione con regimi di umidità xerico e xerico-secco. I regimi di umidità sono stati ordinati per frequenza decrescente della classe xerico-secco. Le mappe dell'indice d'aridità e dei regimi pedoclimatici sono state confrontate con le regioni climatiche d'Italia (Finke et al., 1998; Righini et al., 2001). Le aree a rischio potenziale di desertificazione sono risultate le regioni climatiche con tipo di clima Mediterraneo.

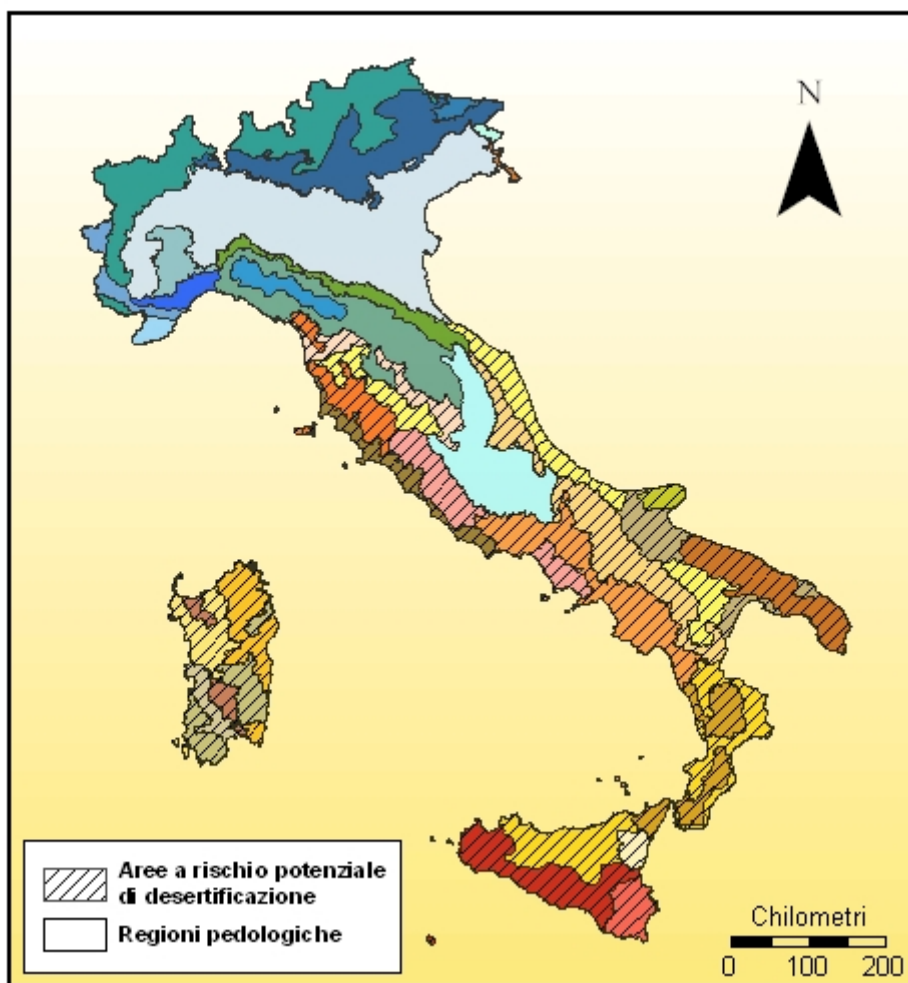


Figura 8 – Area di studio.

2.6 Elaborazione degli indicatori e degli indici di stato, impatto e risposta

In questo capitolo sono descritti gli indicatori di stato e i modelli di calcolo degli indici d'impatto e risposta ottenuti dagli indicatori di stato. Per la scelta degli indicatori e degli indici si rimanda al capitolo specifico. I dati consegnati nell'ambito del progetto e riportati nell'Atlante sono gli indici d'impatto e risposta più l'indicatore del numero di giorni in cui il suolo è secco (per permettere la definizione di soglie di rischio potenziale alternative a quella proposta di 105 giorni). Ai singoli strati informativi sono allegati nel cd-rom i metadati in formato .xml e secondo lo standard ISO 19115.

Gli indicatori hanno scale di riferimento e risoluzioni differenti, alcuni prodotti in formato vettoriale e altri in formato raster. Per calcolare ed analizzare congiuntamente gli indici, gli indicatori sono stati convertiti tutti in formato raster sulla griglia delle immagini Landsat (30 metri di risoluzione). Tutti gli indici hanno quindi una risoluzione nominale di 30 metri (anche se la risoluzione e la scala di riferimento dell'informazione sono differenti). Tutti gli indicatori sono riportati regione per regione e riferiti al sistema di coordinate UTM32 datum WGS84.

2.6.1 Sistema di degradazione del suolo “erosione idrica”

2.6.1.1 Suoli sottili su forti pendenze

2.6.1.1.1 Indicatore di stato: suoli sottili

Lo spessore è una caratteristica del suolo su cui agiscono direttamente i processi d'erosione, cioè determina la potenziale evoluzione verso uno stato di sterilità funzionale. Il dato sullo spessore del suolo è ricavato dalla banca dati dei suoli d'Italia gestita dal Centro Nazionale di Cartografia Pedologica. I dati puntuali utilizzati sono stati 19.080, distribuiti nell'area d'analisi e spazializzati tramite la metodologia esposta nel capitolo sulle banche dati pedologiche. I suoli considerati potenzialmente vulnerabili sono quelli con profondità radicabile minore di 50 cm. Una componente territoriale è stata considerata potenzialmente vulnerabile quando almeno il 40% dei suoli che la descrivono sono vulnerabili. Ogni poligono d'uso del suolo all'interno dei poligoni dei sottosistemi è stato considerato potenzialmente vulnerabile quando almeno il 50% della sua superficie è potenzialmente vulnerabile. Questo livello poligonale a scala 1:100.000 è stato utilizzato per la rappresentazione geografica dei suoli sottili.

2.6.1.1.2 Indicatore di stato: forti pendenze

La pendenza è un importante fattore per l'insacco e la dinamica dei processi d'erosione idrica. La pendenza è stata ricavata dal modello digitale del terreno con risoluzione 20 metri fornito dal MATT. Sono state considerati “forti” le pendenze maggiori del 15%.

2.6.1.1.3 Modello di calcolo dell'indice d'impatto

L'indice d'impatto “suoli sottili su forti pendenze” identifica le aree in cui i suoli sono vulnerabili ai processi d'erosione idrica. L'evoluzione verso situazioni di sensibilità e poi di sterilità funzionale dipende da una serie di altri fattori come la copertura vegetale e la politica di gestione del territorio. L'analisi dell'NDVI, gli indici di risposta e la presenza di fenomeni di erosione rilevata dagli osservatori nella banca dati pedologica, costituiscono dei dati complementari a questo indice. Sono considerate vulnerabili le aree in cui sono presenti contemporaneamente suoli sottili e pendenze maggiori del 15%. Le aree con pendenza maggiore del 15% e senza informazione pedologica sono classificate come “assenza di dati”. Tutte le altre aree sono classificate non a rischio. Lo strato informativo è stato ottenuto per sovrapposizione dei due indicatori di stato: “suoli sottili” e “forti pendenze”.

2.6.1.2 Presenza di fenomeni di erosione dalla banca dati dei suoli

2.6.1.2.1 Indicatore di stato: presenza di fenomeni di erosione dalla banca dati dei suoli

La presenza di fenomeni erosivi osservata sul campo è un'indicazione inequivocabile di processi di degrado del suolo in atto sul territorio. Questa informazione è spesso rilevata dal pedologo nella descrizione dell'ambiente del suolo che analizza in campagna. Quando presente nella banca dati dei suoli, questa informazione testimonia una realtà di degrado in atto.

Sono considerati suoli soggetti a fenomeni d'erosione forte le classi della banca dati pedologica (Gardin et al., 2002): area >25%, erosione di massa per crollo, idrica diffusa forte, idrica incanalata forte (gully erosion), di massa per scivolamento e scoscendimento, solifluzione e creeping.

Sono considerati suoli soggetti a fenomeni d'erosione moderata le classi della banca dati pedologica: area <25%, erosione idrica diffusa moderata (sheet erosion), idrica incanalata moderata (rill erosion).

In banca dati non sono presenti suoli con fenomeni di erosione eolica.

I valori puntuali dei suoli sono stati spazializzati tramite la metodologia esposta nel capitolo sulle banche dati pedologiche.

2.6.1.2.2 Modello di calcolo dell'indice d'impatto

La presenza di fenomeni erosivi forti identifica aree sensibili, mentre la presenza di fenomeni d'erosione moderata indica aree vulnerabili. Una componente territoriale è considerata vulnerabile quando almeno il 40% dei suoli che la descrivono sono vulnerabili. Ogni poligono d'uso del suolo all'interno dei poligoni dei sottosistemi (che raggruppano tutte le componenti territoriali di quel poligono di sottosistema con lo stesso uso del suolo) è considerato vulnerabile quando almeno il 50% della sua superficie è vulnerabile. Lo stesso discorso vale per l'indicazione di sensibilità. Quando le indicazioni di sensibilità e vulnerabilità singolarmente non oltrepassano la soglia del 50%, ma assieme vanno oltre a questo valore, le componenti territoriali e le aeree di uso del suolo sono attribuite al maggiore fra sensibilità e vulnerabilità. Tutte le aree in cui l'informazione sui fenomeni erosivi non era presente sono state considerate non valutabili.

Questo strato informativo è stato ottenuto direttamente dall'indicatore di stato "presenza di fenomeni di erosione".

2.6.1.3 Analisi dell'indice di vegetazione

2.6.1.3.1 Indicatore di stato: analisi NDVI

L'indice di vegetazione normalizzato, (NDVI o Normalized Difference Vegetation Index) è uno dei parametri più utilizzati per la definizione dello stato della vegetazione. Com'è noto la riflettanza della vegetazione verde si caratterizza per un particolare contrasto nella risposta tra i range compresi tra 0,6 e 0,7 μm e tra 0,7 e 1,3 μm , rispettivamente noti come visibile-rosso e infrarosso vicino. Nel primo di questi intervalli la vegetazione verde assorbe quasi completamente l'energia elettromagnetica solare, mentre nel range dell'infrarosso vicino questa viene quasi completamente riflessa. Gli indici basati sul rapporto tra queste due bande enfatizzano lo stato della vegetazione, eliminando inoltre gli effetti dovuti alla componente morfologica con le diverse esposizioni dei versanti.

L'indice normalizzato NDVI (Colwell, 1974) si caratterizza in particolare per la possibilità di mettere a confronto scene diverse, minimizzando le differenze dovute ai diversi istanti di ripresa.

$$NDVI = \frac{rIR - rR}{rIR + rR}$$

dove:

rIR = riflettanza nell'infrarosso vicino

rR = riflettanza nel rosso

La possibilità di descrivere il territorio naturale con un indicatore oggettivo sul "vigore" dell'attività della vegetazione costituisce un valido contributo per la definizione del grado di "sterilità funzionale agicolo-forestale", soprattutto per la componente legata allo stato delle aree naturali.

Per il calcolo dell'indice NDVI sono state utilizzate le immagini Landsat TM ed ETM+, integrandole per le aree coperte da nuvole e per piccole porzioni non coperte con altre immagini dello stesso sensore messe a disposizione in rete dalla comunità scientifica internazionale.

Nella figura seguente si riporta lo schema del modello implementato in ambiente Erdas Image per il calcolo dell'indice di vegetazione. La prima struttura condizionale pone a 0 l'indice se il denominatore (IR-R) è negativo; la seconda struttura condizionale distribuisce il valore dell'indice tra 0 e 255, ponendo a 0 eventuali valori negativi, non significativi e riscontrabili solo localmente, in aree molto assorbenti, come corpi idrici, aree in ombra ecc.

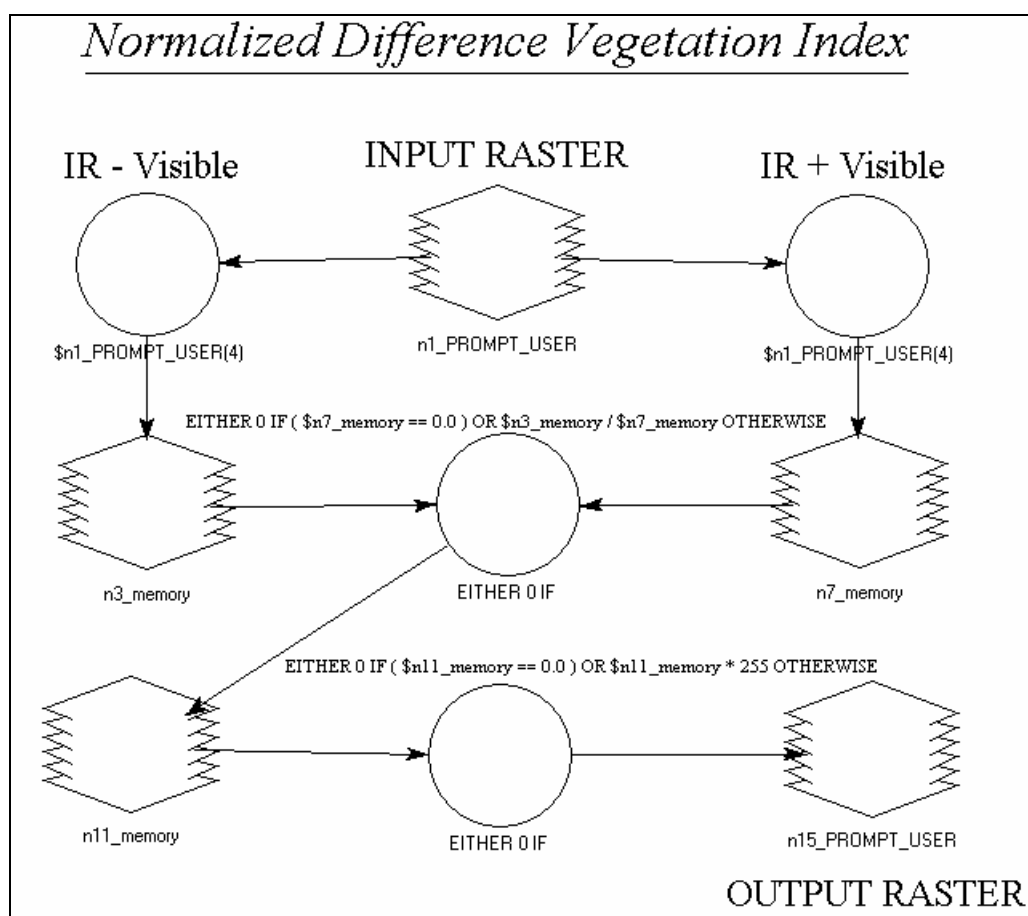


Figura 9 – Modello di calcolo dell'indice di vegetazione normalizzato, espresso come intero 8 bit.

Nelle analisi territoriali basate su indicatori quantitativi derivati da immagini satellitari e con estensione dell'area su frame differenti si rende indispensabile operare con tecniche che rendano confrontabili i dati delle diverse immagini. L'indice normalizzato NDVI, prodotto su immagini di riflettanza regolarmente corrette con i coefficienti di calibrazione propri dei sensori e depurate dei disturbi atmosferici (path radiance) dovrebbe teoricamente essere direttamente confrontabile tra scene diverse. In realtà sono presenti altri fenomeni che possono rendere due immagini diverse dello stesso territorio non confrontabili quantitativamente. Diversi livelli di densità locale di foschia o nuvolosità sottile, diversi stadi fenologici della vegetazione pur nello stesso periodo stagionale, diverse condizioni meteo-climatiche, ecc, possono costituire fattori che rendono di fatto non confrontabili immagini satellitari anche con le dovute calibrazioni radiometriche e correzioni atmosferiche. Si è ricorso quindi alla tecnica del bilanciamento di immagini di NDVI mediante histogram-matching. Questa tecnica prevede di correggere una immagine tramite coefficienti derivati dall'analisi degli istogrammi di frequenza delle immagini stesse, istituendo dei valori di riferimento. Eseguendo tali analisi su campioni rappresentativi di aree a vegetazione naturale si ottengono i fattori di bilanciamento tarati sulla risposta della vegetazione naturale.

Tali attività hanno consentito di ottenere immagini sovrapponibili, con le quali costruire un mosaico omogeneo per ogni regione, e successivamente per tutta l'area del progetto.

Le attività di elaborazione si sono svolte con le seguenti fasi:

1. acquisizione, eventuale georeferenziazione, proiezione nel sistema UTM32 WGS84;

2. individuazione aree coperte da nuvole, digitalizzazione di tali aree, mascheratura immagini;
3. generazione NDVI singole scene nominali;
4. ricerca immagini alternative per aree nuvolose, georeferenziazione/proiezione;
5. generazione NDVI scene alternative, bilanciate con histogram-matching;
6. mosaicatura e produzione scene a copertura 100% cloud-free;
7. bilanciamento delle varie scene mediante histogram-matching;
8. mosaicatura delle varie immagini NDVI per tutta l'area del progetto.

2.6.1.3.2 Modello di calcolo dell'indice di impatto

L'indice NDVI rappresenta il "vigore" dell'attività della vegetazione e costituisce quindi una misura indiretta del grado di "sterilità funzionale agicolo-forestale" nelle aree naturali. Le aree non naturali sono state escluse da questa analisi utilizzando maschere derivate dalle banche dati di uso del suolo. Per l'utilizzo di tale indice insieme con altri indicatori è stato prodotto uno strato informativo sintetico mediante "level slicing", basato sui risultati di attività di analisi fotointerpretativa condotta su 100 punti di controllo in Sardegna ed in Sicilia. Più in particolare, sono state analizzate le immagini Landsat insieme alle ortofoto digitali e con l'aiuto delle banche dati di uso del suolo disponibili per le varie regioni geografiche, oltre a dati rilevati a terra.

I punti sono stati disposti secondo "transetti" in aree in cui erano presenti le varie tipologie di ambiente naturale, dai boschi ad alta densità di copertura delle chiome, alle zone con vegetazione cespugliosa e rada, fino alle zone denudate. Per ogni punto è stato registrato il valore di indice di vegetazione NDVI, il codice di uso del suolo delle fonti disponibili, oltre ad un commento sulla tipologia di copertura vegetale.

La classificazione è stata condotta con gli intervalli di slicing riportati nella seguente tabella.

Tabella 17 – Intervalli di NDVI 8bit adottati per la produzione di un livello informativo sintetico.

classe	range NDVI 8bit	descrizione tipologia di ambiente
1	0 – 25	rocce, suoli nudi o con copertura di vegetazione secca rada
2	26 – 50	vegetazione verde molto scarsa, vegetazione secca, suoli nudi, rocce
3	51 – 100	cespuglieti, macchia, bosco degradato
4	101 – 150	bosco e macchia a media densità
5	151 – 255	bosco denso

La classe 1 è stata considerata "sterilità funzionale"; la classe 2 indica uno stato "sensibile"; la classe 3 identifica una condizione "aggravante del rischio", perché fornisce protezione scarsa al suolo; la classe 4 corrisponde ad "assenza di rischio"; la classe 5, fornendo una forte protezione al suolo, è considerata "mitigante del rischio di erosione".

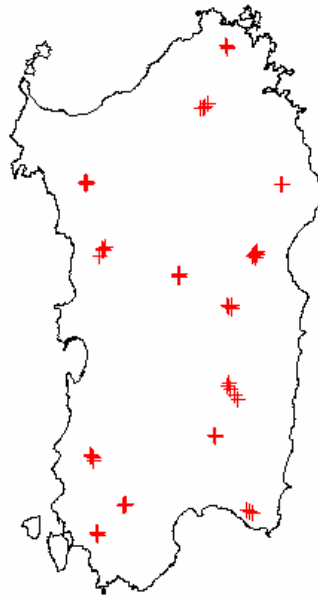


Figura 10 – I punti di controllo utilizzati in Sardegna per la taratura del level-slicing.

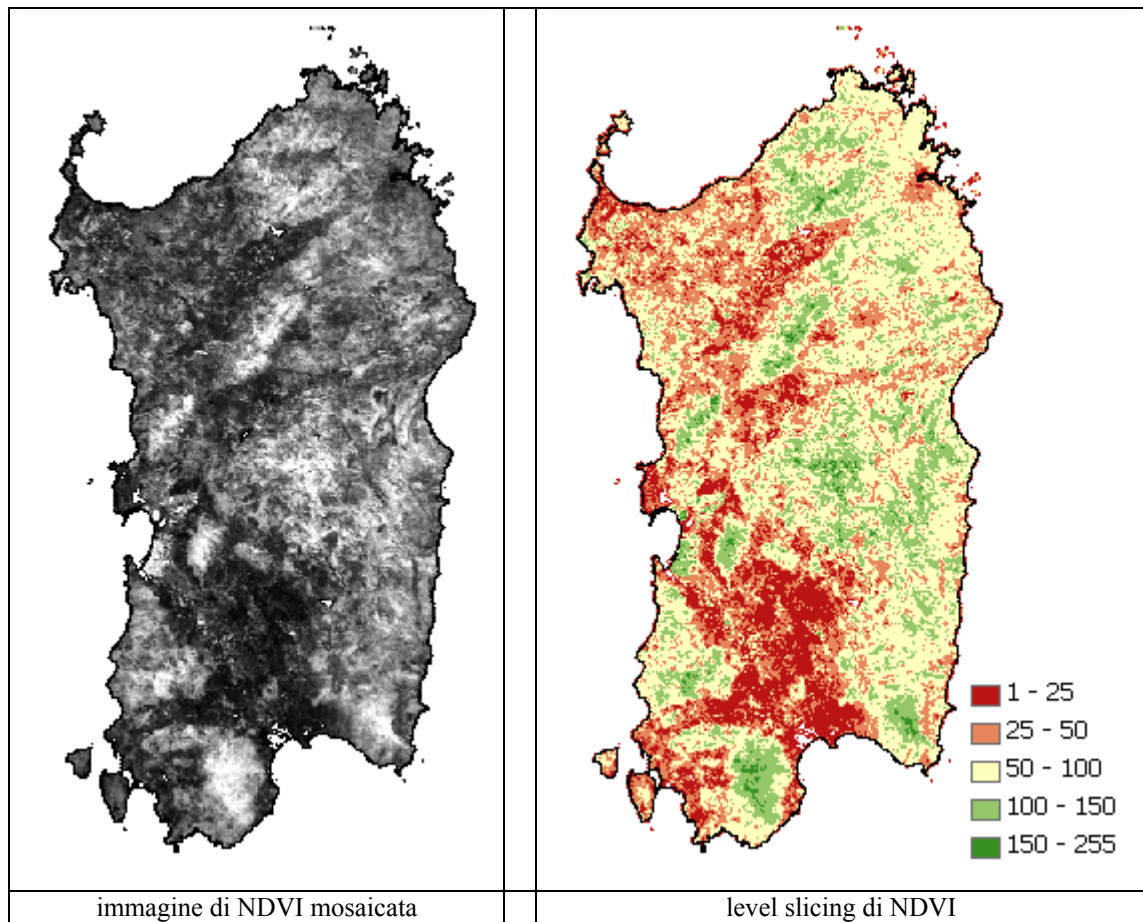


immagine di NDVI mosaicata

level slicing di NDVI

Figura 11 – Immagini di NDVI per la regione Sardegna.

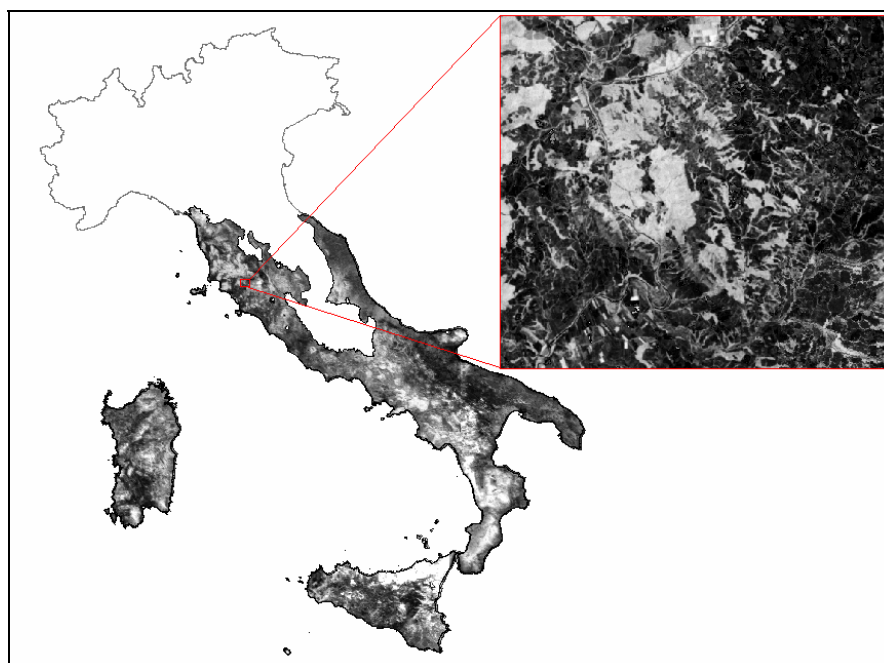


Figura 12 – Mappa dell'indice di vegetazione NDVI per tutto il territorio in oggetto.

2.6.1.4 Pressione di pascolamento

2.6.1.4.1 Indicatore di stato: carico di pascolo

Il carico di bestiame rappresenta la quantità di bestiame mantenibile al pascolo per unità di superficie per tutta la durata del pascolamento. L'individuazione del carico ottimale permette di mantenere nel tempo una vegetazione equilibrata e produttiva. Un eccessivo carico di bestiame ostacola in modo particolare la funzione vegetativa e riproduttiva delle specie poliennali con conseguente perdita della loro rappresentatività nella cotica erbosa. Inoltre l'eccessivo calpestio, dovuto ad un eccessivo carico determina compattamento del terreno, asfissia radicale, ristagni idrici, cui segue la riduzione del numero di piante per unità di superficie, fino ad arrivare a stadi di degradazione veri e propri, con aree più o meno ampie di terreno privo di cotica. L'indicatore è basato sull'Indice di Intensità di Pascolamento (IIP), derivato dalle banche dati sul pascolamento con la metodologia esposta in precedenza.

2.6.1.4.2 Modello di calcolo dell'indice d'impatto

Per definire le soglie relative all'Indice di Intensità di Pascolamento (IIP) si è fatto riferimento alla metodologia proposta dal SAR (<http://www.sar.sardegna.it/>), considerando 2 classi di impatto: “aggravante del rischio” quando $IPA \leq IPS$; “area sensibile” quando $IPA > IPS$. Dove IPA è l'Indice di Pascolamento Attuale e IPS è l'Indice di Pascolamento Sostenibile.

Il calcolo dell'indice IIP ha previsto una serie di passaggi:

1. Estrazione dalla cartografia di uso del suolo dei poligoni classificati a pascolo.
2. Intersezione del layer ottenuto dal passaggio precedente con i limiti delle Regioni Agrarie (raggruppamenti di Comuni contigui che presentano uguali condizioni naturali -geologia, clima, rilievo, ...- ed agricole -colture attuali e potenziali-), definite dall' ISTAT, ed estrazione degli ettari a pascolo per ciascuna Regione Agraria. Si è ritenuto più opportuno considerare un ambito territoriale (le Regioni Agrarie) che possa tenere conto della mobilità degli animali (soprattutto ovicapri), verso i pascoli di comuni limitrofi, rispetto alla delimitazione amministrativa dei Comuni.

3. Collegamento della tabella contenente i dati ISTAT con il layer cartografico costruito nel passaggio 2, derivando il livello informativo - denominato dati di base - in formato vettoriale, in

modo da poter disporre dell'informazione relativa alla consistenza degli allevamenti in formato vettoriale georeferenziato, nel sistema di riferimento cartografico in cui è inquadrato il progetto, nella cui tabella degli attributi sono presenti tutti i parametri per calcolare gli indicatori ed indici (IPA - IPS - IIP).

4. Calcolo dell'Indice di Pascolamento Attuale (IPA):

- In primo luogo si sono rese equivalenti specie zootecniche diverse (bovini, ovini, caprini) attraverso il calcolo dell'Unità Bovino Adulto (UBA) sulla base di un indice di conversione: 1 bovino di età superiore ai due anni è pari a 1 UBA; 1 ovicapriino di oltre un anno o con almeno un parto è pari a 0,15 UBA, determinando - per ciascuna Regione Agraria - il numero totale di UBA presenti (corrispondente all'indice di Pascolamento Attuale totale):

$$UBA_totali (IPA) = n^\circ \text{ bovini} + n^\circ \text{ bufalini} + n^\circ \text{ ovini} \times 0,15 + n^\circ \text{ caprini} \times 0,15$$

- calcolo IPA ad ettaro:

$$IPA = \frac{UBA_totali}{Ettari}$$

5. Calcolo dell'Indice di Pascolamento Sostenibile (IPS), il calcolo di tale indice ha previsto i seguenti passaggi intermedi:

- calcolo U.F. mediamente ricavabili dalle superfici a pascolo:

$$U.F. = 841 * Ettari * 0,80$$

dove:

841 = U.F. mediamente ricavabili da un ettaro di pascolo

Ettari = superficie a prato pascolo presente nei dati del censimento

0,80 = coefficiente di utilizzazione del pascolo

- Calcolo del Fabbisogno Alimentare Bovini (F.A.B.):

$$F.A.B. = (5 \times 90) * (UBA_bovini)$$

dove:

5 = fabbisogno alimentare, giornaliero, medio di un UBA, espresso in U.F.

90 = durata in giorni del pascolamento

- Calcolo del Fabbisogno Alimentare Ovicapriini (F.A.O.):

$$F.A.O. = (5 \times 180) * (UBA_ovicapriini)$$

5 = fabbisogno alimentare, giornaliero, medio di un UBA, espresso in U.F.

180 = durata in giorni del pascolamento,

- calcolo UBA mantenibili totali (corrispondente all'Indice di Pascolamento Sostenibile totale)

$$UBA_mantenibili = \frac{U.F.}{(F.A.B + F.A.O)}$$

- calcolo IPS ad ettaro

$$IPS = \frac{UBA_mantenibili}{Ettari}$$

6. Attribuzione ai poligoni della cartografia di uso del suolo classificati a pascolo dell'indice IIP, attraverso un lavoro di analisi ed interpretazione dei dati, tenendo conto del fatto che il dato sulla differenza di carico, se acquista un significato importante (dal punto di vista dell'impatto sui pascoli), per i centri di montagna e di alta collina perde di riferimento per i centri di pianura e

di bassa collina dove gli animali sono allevati in maniera spesso intensiva, con foraggi e mangimi di provenienza sia aziendale che extra aziendali. Particolare attenzione - in fase di interpretazione ed analisi - è stata posta in quelle situazioni in cui il dato riscontrato è in contraddizione con quanto atteso. Infatti in molte aree di pianura si riscontrano elevati valori dell'indice, mentre i limitrofi pascoli collinari e montani presentano valori bassi. Come criterio generale si è considerato che i pascoli collinari e montani siano utilizzati da animali provenienti da comuni limitrofi, soprattutto se in questi ultimi si riscontrano alti valori di UBA ovicaprini (in genere soggetti a maggior mobilità rispetto ai bovini). Si è comunque lasciato alto il valore dell'indice anche nei comuni pianeggianti, in quanto tale dato dovrebbe essere in seguito annullato attraverso l'incrocio con i layer di pendenza e spessore del suolo.

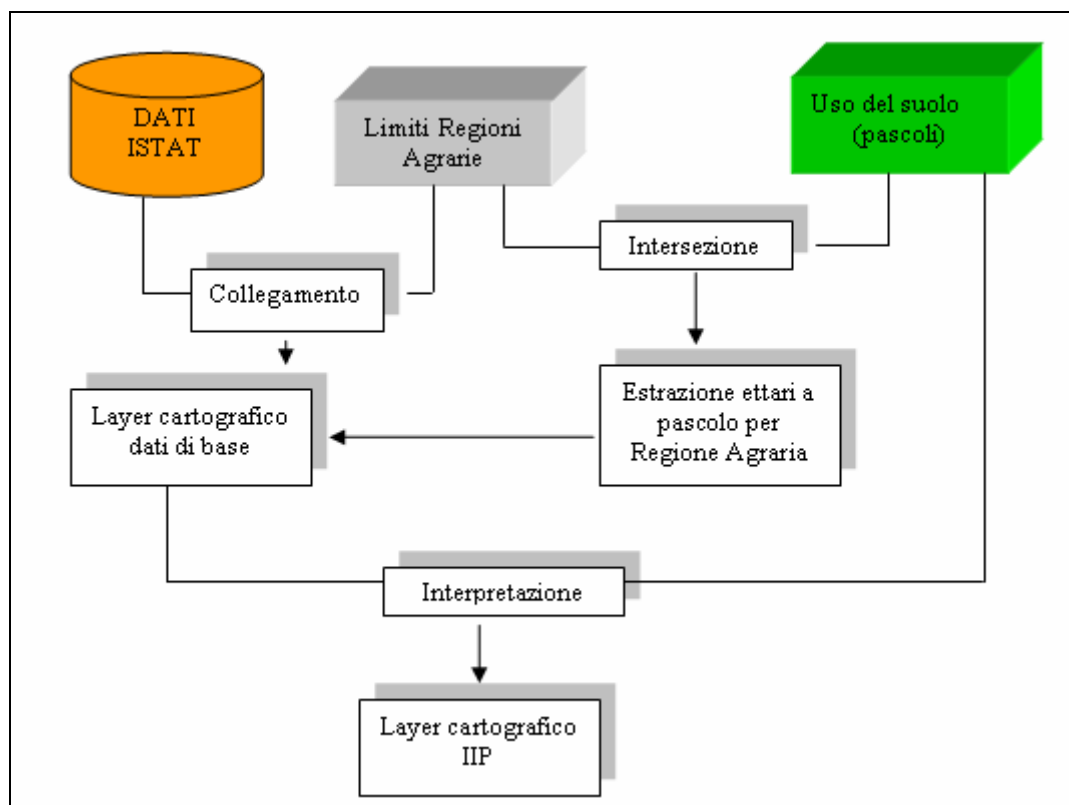


Figura 13 - Schema di calcolo dell'indice IIP.

2.6.1.5 Misure agroambientali

2.6.1.5.1 Indicatore di stato: misure agroambientali

Dall'analisi delle misure contenute nel Reg. 2078, sono state selezionate, per la definizione dell'indice di risposta misure agroambientali (IRMA), quelle contenenti interventi maggiormente correlati alla mitigazione di processi di degrado dei suoli. In particolare sono state analizzate le seguenti misure:

- Misura A1 - introduzione e mantenimento dei metodi di agricoltura biologica
- Misura B1 - sistemi di pascoli estensivi (per tale intervento si dispone di dati significativi per la sola regione Sardegna)
- Misura E1 - cura dei terreni agricoli abbandonati
- Misura F1 - ritiro dei seminativi dalla produzione

La misura A1 e B1 sono collegate in modo sinergico, dal punto di vista dell'effetto sull'ambiente suolo, in quanto esprimono la stessa filosofia produttiva relativa all'uso di tecniche a basso impatto ambientale.

L'agricoltura biologica usa esclusivamente mezzi di produzione naturali, alla cui base c'è la ricostruzione ed il mantenimento della complessità dell'ecosistema agricolo, in particolare risultano essere determinanti ai fini della protezione del suolo i seguenti aspetti:

- la corretta gestione della sostanza organica nel terreno, basata sulla somministrazione di ammendanti organici
- le rotazioni colturali, nelle quali è indispensabile la presenza di leguminose

Nel sistema dei pascoli estensivi sono compresi una serie di interventi volti a mitigare l'impatto dell'attività pascolativa nei confronti del compattamento e dell'erosione idrica, tra i quali assumono particolare importanza i seguenti:

- mantenimento e/o ricostituzione di un cotico erboso
- il carico bestiame non deve superare 1,4 UBA/superficie foraggera/anno
- eseguire interventi per la regimazione delle acque, per il miglioramento del cotico erboso
- favorire il ricaccio effettuando il pascolo in periodi idonei

Le misure E1 ed F1 hanno obiettivi in comune con le strategie di “cura dello spazio naturale” il cui effetto sui terreni agricoli è legato alla protezione microclimatica ed antierosiva ed al riequilibrio biologico.

2.6.1.5.2 Modello di calcolo dell'indice di risposta

Per la definizione dell'indice IRMA, non esistendo in letteratura esperienze analoghe, si è pensato di rapportare la superficie interessata all'applicazione delle varie misure agroambientali (misure A1, E1, F1) alla superficie investita a seminativo, a livello comunale, e quindi di definire delle soglie di risposta, in termini di mitigazione del rischio di degrado dei suoli. Sulla base di queste considerazioni sono stati definiti i seguenti valori:

- IRMA = 1, non mitigante: % di ettari interessati alle misure su totale seminativi ≤ 40 %
- IRMA = 2, mitigante: % di ettari interessati alle misure su totale seminativi > 40 %
- IRMA = 0, mancanza di dati sulle misure

Il calcolo dell'indice IRMA ha previsto una serie di passaggi, di seguito descritti:

1. elaborazione dei dati di base: dal database AGEA sono stati estratti i dati relativi agli ettari di superficie interessata all'applicazione delle varie misure costruendo una tabella con la seguente struttura:

Comune	Codice ISTAT	ha misure	n° beneficiari
--------	--------------	-----------	----------------

2. la tabella è stata collegata, attraverso un software GIS ed utilizzando quale chiave di collegamento il codice ISTAT dei comuni, con il layer cartografico dei limiti comunali, in modo da poter disporre dell'informazione relativa agli ettari di applicazione delle misure in formato vettoriale georeferenziato, nel sistema di riferimento cartografico in cui è inquadrato il progetto

3. estrazione dalla cartografia di uso del suolo dei poligono classificati a seminativo

4. intersezione del layer ottenuto dalla precedente operazione con i limiti comunali, ottenendo per ciascun comune la superficie a seminativo in forma tabellare

5. collegamento della tabella precedente con il layer cartografico costruito nel passaggio 2, derivando un ulteriore livello informativo, denominato dati di base, in formato vettoriale, in cui la struttura della tabella degli attributi è la seguente:

Comune	Codice ISTAT	ha misure	n° beneficiari	ha seminativo
--------	--------------	-----------	----------------	---------------

6. calcolo della percentuale e conseguentemente dell'indice IRMA, in funzione delle soglie precedentemente stabilite

7. intersezione del layer ottenuto con i poligoni derivanti dalla cartografia di uso del suolo e classificati a seminativo ed attribuzione a ciascun poligono del valore dell'indice

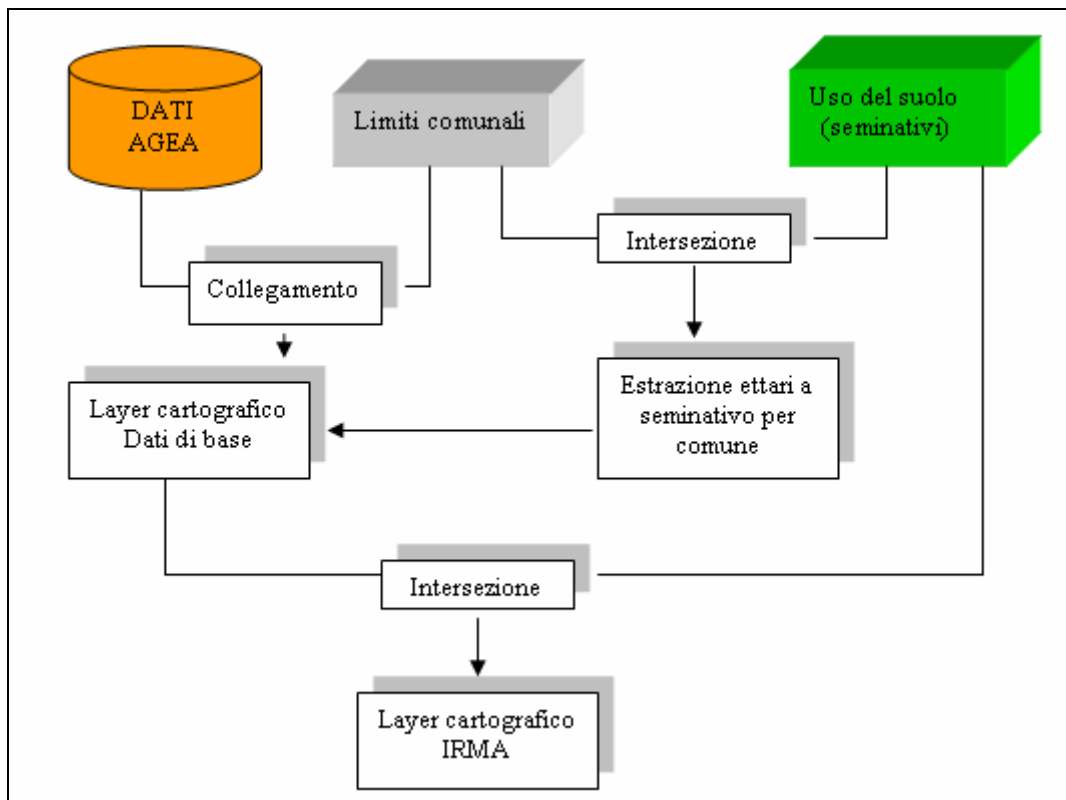


Figura 14 - schema di calcolo dell'indice IRMA.

Utilizzando i dati della Misura B1 è stato costruito, per la sola regione Sardegna, un indice di mitigazione dal rischio di pascolamento, utilizzando la stessa metodologia di calcolo esposta in precedenza.

2.6.1.6 Aree protette

2.6.1.6.1 Indicatore di stato: aree protette

L'indicatore di stato "aree protette" deriva direttamente dalla banca dati fornita dal MATT sulle aree naturali protette.

2.6.1.6.2 Modello di calcolo dell'indice di risposta

Le aree naturali protette costituiscono un indice di risposta alla desertificazione che tutela l'ambiente dalle pressioni antropiche. Le aree protette sono quindi classificate "mitigazione del rischio". Dove non sono presenti aree protette, la classificazione è "mitigazione assente".

2.6.1.7 Aree incendiate

2.6.1.7.1 Indicatore di stato: aree incendiate

Gli incendi rappresentano una delle maggiori cause di degradazione del suolo e di desertificazione in ambiente mediterraneo. L'aumento della loro frequenza negli ultimi decenni, sta provocando rilevanti conseguenze sul tasso di erosione, sulla perdita della biodiversità e sulle proprietà fisiche e chimiche del suolo, quali la perdita di nutrienti e la riduzione della permeabilità.

La vegetazione mediterranea è altamente infiammabile a causa della presenza di specie con elevato contenuto di resine ed oli essenziali, ma nello stesso tempo è caratterizzata da una buona capacità di recupero, che avviene generalmente nell'arco di qualche anno.

Le aree incendiate derivano dalla banca dati ITALSCAR che fa riferimento agli anni 1997-2000, considerando bruciate le aree individuate come tali con una confidenza >50%.

2.6.1.7.2 Modello di calcolo dell'indice d'impatto

Il calcolo dell'indice è stato eseguito sulla sola regione Sardegna, unica regione con dati disponibili, a partire dall'indicatore di stato "aree incendiate". Le aree incendiate sono classificate "aggravanti del rischio". Le altre aree sono classificate "assenza".

2.6.2 Sistema di degradazione del suolo "deposizione"

2.6.2.1 Effusioni laviche recenti

2.6.2.1.1 Indicatore di stato: effusioni laviche recenti

Le effusioni laviche recenti sono state individuate tramite la Carta Geologica d'Italia 1:500.000 per la sola Regione Sicilia, dove il fenomeno ha una effettiva rilevanza. Questo indicatore, anche se non influenzato dall'attività antropica, differenzia la sterilità funzionale delle aree intorno all'Etna e sulle isole vulcaniche siciliane dalle aree degradate da processi erosivi. In questo caso non c'è suolo a causa della deposizione delle colate laviche.

2.6.2.1.2 Indicatore di stato: indice NDVI

Le aree individuate dalla Carta Geologica d'Italia 1:500.000 hanno una scala di riferimento troppo piccola rispetto alla scala di lavoro del progetto, ed includono anche aree non a sterilità funzionale. Per delimitare con più precisione le superfici effettivamente sterili a causa di deposizione, è stata utilizzata l'analisi NDVI nelle sole aree naturali e seminaturali, già descritta nei capitoli precedenti.

2.6.2.1.3 Modello di calcolo dell'indice d'impatto

Le superfici a sterilità funzionale in aree naturali e seminaturali identificate dall'indicatore dell'analisi NDVI, che si trovano all'interno delle effusioni laviche recenti intorno all'Etna e nelle isole vulcaniche siciliane, come risulta dalla Carta Geologica d'Italia, sono state classificate come a sterilità funzionale.

Gli alvei fluviali, non cartografabili come classe a se stante alla scala di lavoro, ricadono parte nell'uso del suolo "corpi idrici" e parte nelle aree naturali e seminaturali studiate dall'analisi dell'indice NDVI nel sistema di degradazione del suolo "erosione". Ad una scala più dettagliata queste superfici dovrebbero rientrare più propriamente nel sistema di degradazione "deposizione".

2.6.3 Sistema di degradazione del suolo “urbanizzazione”

2.6.3.1 Aree urbane e infrastrutture principali

2.6.3.1.1 Indicatore di stato: aree urbane

Le aree urbane sono superfici caratterizzate dalla perdita irreversibile della funzionalità produttiva ed ecologica del suolo, così come è stata definita nei principi metodologici del progetto. Le aree urbane sono state derivate dalle banche dati di uso del suolo ad una scala di riferimento 1:100.000.

2.6.3.1.2 Indicatore di stato: strade e ferrovie

Le principali infrastrutture (strade e ferrovie) presentano una condizione di sterilità funzionale analoga a quella delle aree urbane. Non è stato possibile trovare banche dati sufficientemente dettagliate per tutte le regioni, per cui questo indicatore è stato elaborato solo per la Regione Lazio e la Regione Sardegna, che hanno messo a disposizione del progetto questa informazione. Gli strati informativi vettoriali sono stati convertiti in immagini (grid) con risoluzione 30 metri.

2.6.3.1.3 Modello di calcolo dell'indice d'impatto

L'indice d'impatto delle aree urbane e le principali infrastrutture è stato elaborato sovrapponendo i due indicatori di stato “aree urbane” e “strade e ferrovie”. Queste aree sono classificate a sterilità funzionale agricola e forestale. Non è stata condotta un'analisi sull'evoluzione temporale degli insediamenti, sulle dinamiche demografiche e sugli strumenti di pianificazione territoriale che dovrebbero disciplinare il futuro sviluppo di queste superfici, così come evidenziato nella metodologia, per cui non sono state individuate aree vulnerabili o sensibili. Tutte le aree attualmente non a sterilità funzionale sono classificate come “assenza di urbanizzazione”.

2.6.4 Sistema di degradazione del suolo “salinizzazione”

2.6.4.1 Aree con falde idriche potenzialmente saline

2.6.4.1.1 Indicatore di stato: quota

La quota è stata ricavata dal modello digitale del terreno con risoluzione 20 metri, fornito dal MATT. Le aree con quota minore di 10 metri servono per identificare, assieme alla distanza dal mare, la possibile intrusione di acque marine nei corpi acquiferi continentali dovuta ad eccessivo emungimento.

2.6.4.1.2 Indicatore di stato: distanza dal mare

L'indicatore “distanza dal mare” identifica le aree entro 6 chilometri dalla linea di costa o da specchi d'acqua salmastra. È calcolato come area di buffer dai limiti di costa (strato poligonale derivato dai sottosistemi) e dagli specchi d'acqua salmastra (banche dati di uso del suolo).

2.6.4.1.3 Indicatore di stato: litotipi salini

I litotipi salini (formazioni gessoso-solfifere) sono stati individuati tramite la Carta Geologica d'Italia 1:500.000

2.6.4.1.4 Modello di calcolo dell'indice d'impatto

La salinizzazione dovuta alla risalita capillare ed all'utilizzo di acque ricche in sali costituisce un importante sistema di degradazione dei suoli, in buona parte causato da una non corretta gestione delle risorse idriche. Non sono disponibili anche dati sui suoli e sulle acque con evidenze dirette di salinizzazione avvenuta o in corso, se non per poche situazioni puntuali. L'indice costruito definisce invece le aree con falde idriche potenzialmente saline (vicine al mare o su litotipi salini), dove un eccessivo emungimento può portare alla progressiva salinizzazione dei suoli. Le aree identificate come vulnerabili sono quelle entro 6 chilometri dalla linea di costa e dagli specchi d'acque salmastre e contemporaneamente inferiori ai 10 metri di quota sul livello del mare (intersezione degli indicatori di stato "quota" e "distanza dal mare"), in aggiunta a quelle dove si trovano litotipi salini. Tutte le altre aree sono classificate come "non a rischio".

2.6.5 Sistema di degradazione del suolo "siccità"

2.6.5.1 Numero di giorni di secco

2.6.5.1.1 Indicatore di stato: numero medio annuo di giorni in cui il suolo è secco

L'indicatore utilizzato per misurare la siccità potenziale è il numero di giorni in cui la sezione di controllo del suolo è completamente secca nell'arco dell'anno. La sezione di controllo è la porzione di suolo compresa tra la profondità raggiunta da una pioggia di 25 mm e quella raggiunta da una di 75 mm. La sezione di controllo è funzione della capacità di campo del suolo nei suoi orizzonti. In termini applicativi, individua la porzione di suolo più importante come riserva idrica disponibile all'apparato radicale delle piante erbacee. Il numero di giorni di secco è un'informazione di carattere pedoclimatico che considera l'effetto della siccità su ogni specifico tipo di suolo, calcolata tramite il modello EPIC applicato ad un prato permanente coltivato su uno specifico suolo.

La banca dati pedoclimatica contiene il valore puntuale del "numero di giorni di secco" per 298 associazioni di suoli con stazioni meteorologiche. Il "numero di giorni di secco" è stato messo in relazione tramite una regressione lineare multipla all'AWC (capacità di acqua disponibile) dei suoli, alla precipitazione annua, alla temperatura media annua dell'aria e alla latitudine, con la formula ($R^2= 0,535$, $p<0,001$):

$$[\text{giorni secco}] = 178,78 + 5,33[\text{temperatura}] - 0,0609[\text{precipitazione}] - 0,1648[\text{AWC}] - 2,57[\text{latitudine}]$$

I parametri della regressione multipla sono stati utilizzati poi per calcolare l'indicatore "numero di giorni di secco" per tutta l'area di studio.

Il parametro AWC è stato spazializzato tramite la metodologia esposta nel capitolo sulle banche dati pedologiche, considerando come valore di AWC in ogni poligono la media di tutti i suoli contenuti in quel poligono; per la temperatura e la precipitazione sono state utilizzate le spazializzazioni descritte nel capitolo sulle banche dati climatiche; la latitudine è stata ottenuta dalle stesse coordinate dei punti.

2.6.5.1.2 Modello di calcolo dell'indice di pressione

La siccità potenziale deriva direttamente dall'indicatore "numero di giorni di secco". I suoli sottoposti a più di 90 giorni di secco manifestano chiari stress pedoclimatici (Soil Taxonomy, 1999). La FAO dà un'indicazione della lunghezza del periodo di crescita della vegetazione ponendo la classe delle limitazioni moderate compresa tra i 210 e 270 giorni annui (FAO, 1996). Questi riferimenti, l'analisi dei punti di controllo e la validazione dei referenti regionali hanno portato a definire una soglia per la siccità potenziale di 105 giorni di suolo secco. Con l'Atlante è fornito non solo l'indice, ma anche l'indicatore, in modo da poter definire, eventualmente, altri valori di soglia. Nell'indice, le aree con numero di giorni in cui il suolo secco è maggiore di 105 sono classificate a "siccità potenziale", le aree in cui non sono disponibili dati pedologici sono classificate "dato non disponibile", le altre aree sono classificate "numero di giorni di secco minore di 105".

2.6.5.2 Aree irrigue

2.6.5.2.1 Indicatore di risposta: aree irrigue

L'indicatore di risposta "aree irrigue" deriva direttamente dalla banca dati di uso del suolo prodotta dall' INEA con la metodologia esposta nel capitolo sulle banche dati di uso del suolo.

2.6.5.2.2 Modello di calcolo dell'indice di risposta

Le aree irrigue costituiscono un indice di risposta alla siccità che ne mitiga gli effetti. Le aree irrigate sono quindi classificate "mitigazione del rischio". Dove non è presente irrigazione, la classificazione è "mitigazione assente". Essendo derivato dalla banca dati di uso del suolo elaborata dall' INEA, le regioni per cui si dispone questo dato sono quelle dell'obiettivo 1, cioè Abruzzo, Molise, Campania, Puglia, Basilicata, Calabria, Sicilia e Sardegna.

2.7 Validazione: le esperienze regionali e il fotoatlante

L'attività di validazione dei risultati della ricerca è stata effettuata a scala regionale e sub-regionale, utilizzando l'esperienza, gli studi esistenti e le conoscenze locali, in particolare regionali.

La validazione è stata operata tramite i) il giudizio di esperti regionali e ii) tramite l'allestimento di un atlante fotografico georeferenziato.

L'atlante fotografico presenta siti a rischio di desertificazione, georeferenziati e descritti da una nota esplicativa, da una fotografia di inquadramento dell'ambiente (dall'ortofotocarta a colori) e da una fotografia di dettaglio che illustra il fenomeno in atto. L'atlante fotografico, organizzato in un progetto .mxd di ArcGIS con i collegamenti alle immagini, è disponibile nel CD-Rom allegato alla relazione

3. L'Atlante Nazionale delle aree a rischio di desertificazione

L'Atlante Nazionale delle aree a rischio di desertificazione è costituito da una serie di indici di impatto e di risposta appartenenti ai sistemi di degradazione delle terre descritti nei precedenti capitoli (erosione, deposizione, salinizzazione, urbanizzazione e siccità).

La versione digitale degli indici, organizzati in progetti su base regionale, completi di legende, si trova nel CD-Rom allegato alla relazione, cui si rimanda per un'analisi accurata dei risultati. Le immagini presentate in queste pagine sono un estratto dei dati contenuti nel CD-Rom, che costituisce il vero e proprio Atlante. Gli indici sono stati tutti convertiti in formato raster con risoluzione 30 metri, riferiti al sistema di coordinate UTM fuso 32 datum WGS84. Gli strati informativi sono in formato grid e i progetti che li raccolgono sono in formato .mxd, entrambi nativi del programma ArcGIS della ESRI. Associato ad ogni file, in formato .xml, si trovano i metadati secondo lo standard ISO 19115. Nel CD-Rom vi è un progetto per ogni regione in cui sono mostrati tutti gli indici elaborati per quella regione, l'indicatore del numero dei giorni di secco e, per dare un inquadramento ai risultati, le regioni pedologiche ottenute per aggregazione semantica dei sottosistemi di terre e una elaborazione del modello digitale del terreno (hillshade) che rappresenta la morfologia. I file sono organizzati gerarchicamente per regione e per sistema di degradazione delle terre e possono essere importati anche singolarmente in qualsiasi programma GIS. Nel CD-Rom c'è una cartella per ogni regione, all'interno della quale si trova il progetto (con riferimenti relativi, può quindi essere copiato assieme a tutta la cartella in qualsiasi altra cartella ed essere visualizzato correttamente) e, all'interno della sottocartella "indici", i singoli file. Vi è anche un progetto all'interno della cartella "Area_studio" in cui sono contenuti il progetto .mxd e i dati utilizzati per la definizione dell'area potenzialmente a rischio (regioni pedoclimatiche, elaborazioni pedoclimatiche, indice di aridità, temperatura media annua dell'aria, temperatura media annua del suolo, differenza fra temperatura estiva e invernale, precipitazione) e l'aggressività climatica. La cartella "Atlante_fotografico" contiene il progetto dell'atlante fotografico con i relativi dati.

Nelle pagine seguenti sono riportate le mappe dell'area di studio, dell'indice di aridità (per le regioni Sicilia, Sardegna, Puglia, Basilicata, Molise, Campania e Calabria) e dell'aggressività climatica. Vi è poi una sintesi per tutta la zona potenzialmente a rischio di desertificazione degli indici elaborati. Per ogni Regione sono infine riportati i singoli indici dell'Atlante, organizzati secondo il modello DPSIR (tab. 2).

NOTA BENE:

PER RIDURRE LE DIMENSIONI DEL FILE E PERMETTERE UNA RAPIDA ED EFFICIENTE CONSULTAZIONE, TUTTI I LAYOUT DEGLI INDICI DELL'ATLANTE PRESENTI NELLA VERSIONE COMPLETA DELLA RELAZIONE SONO STATI TOLTI DAL TESTO E FORNITI SEPARATAMENTE COME IMMAGINI.

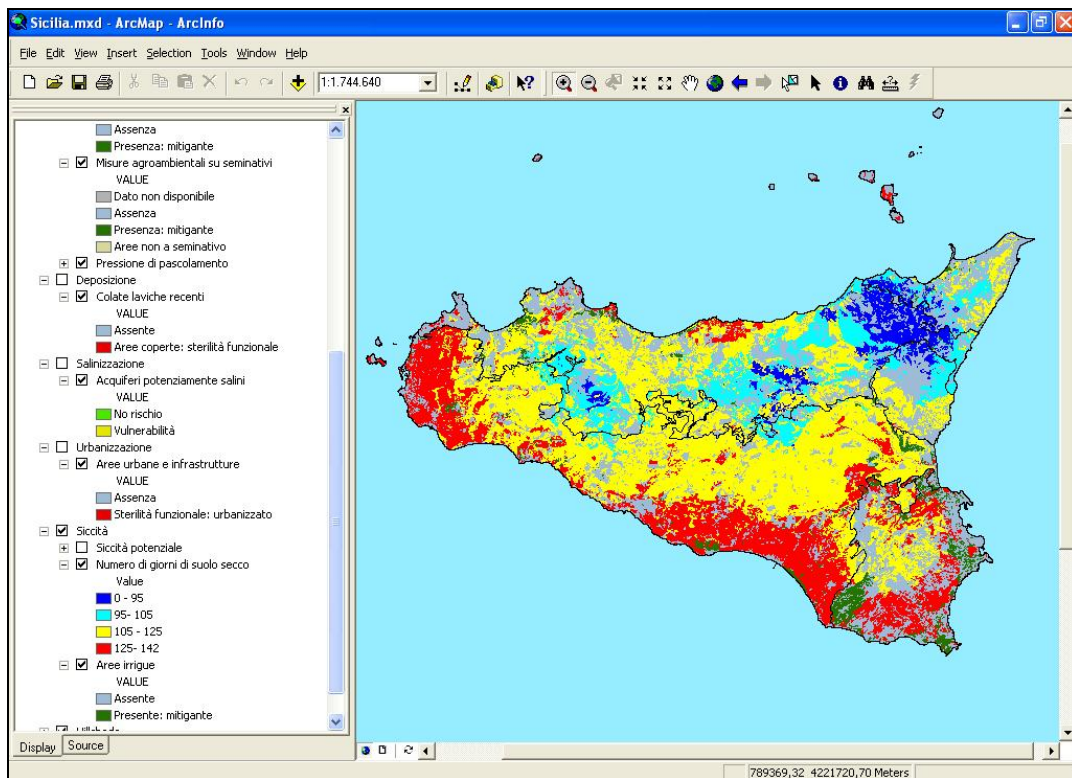


Figura 15 – Layout del progetto (.mxd) per la Regione Sicilia contenuto nel CD-Rom allegato alla relazione.

3.1. Delimitazione del territorio italiano a rischio potenziale di desertificazione su base climatica e pedoclimatica (area di studio).

3.2 Indici d'impatto e di risposta: quadri di sintesi e atlanti regionali.

3.2.1 Quadri di sintesi

3.2.2 Atlanti regionali del rischio di desertificazione

3.2.2.1 Sardegna

3.2.2.2 Sicilia

3.2.2.3 Puglia

3.2.2.4 Calabria

3.2.2.5 Basilicata

3.2.2.6 Molise

3.2.2.7 Campania

3.2.2.8 Lazio

3.2.2.9 Abruzzo

3.2.2.10 Toscana

3.2.2.11 Umbria

3.2.2.12 Marche

3.2.3 Aggressività climatica e indice di aridità

4. Le esperienze regionali: stato dell'arte e strategie d'intervento

Nei capitoli seguenti vengono riportati i tratti salienti di alcune esperienze regionali particolarmente significative. I contributi forniti dai referenti regionali danno un quadro sia dei fenomeni di desertificazione, sia dei diversi approcci metodologici che ogni realtà regionale ha inteso adottare ed adattare al proprio territorio. Di particolare interesse è la parte in cui, per ogni regione, si indicano delle possibili linee di intervento per la lotta alla desertificazione. Gli autori sono tutti pedologi, di diversa formazione culturale, ma ognuno con una grande esperienza di rilevamento di campagna e quindi di diretta conoscenza delle forme di degradazione del suolo presenti nei loro territori.

4.1 Sardegna

La Regione Autonoma della Sardegna con la deliberazione n.14/2 del 23.03.2000 della Giunta Regionale per l'attuazione delle indicazioni formulate, per la redazione dei programmi regionali, dalla delibera CIPE del 21 dicembre 99, in adesione alla UNCCD ("United Nations Convention to Combat Desertification in Countries Experiencing Serious Drought and/or Desertification") ha attivato una segreteria tecnica con il coinvolgimento dei Servizi della Presidenza e delle strutture interessate in materie connesse all'analisi delle cause ed all'esperimento di azioni passibili di essere programmate per svolgere un efficace lotta alla desertificazione.

Alla segreteria tecnica, con il coordinamento della Presidenza della Giunta, era stato affidato il compito di individuare le linee ed il quadro delle priorità da proporre nel programma regionale.

Il Programma elaborato comprende 21 schede descrittive dei principali processi con le corrispondenti azioni di intervento e alcune carte provvisorie in scala 1:250.000 che delimitano le aree a maggior rischio.

Inoltre la Regione Autonoma, con l'applicazione della LR 11/4/96 n.19, ha promosso importanti iniziative in materia di cooperazione con i PVS anche nel campo della lotta alla desertificazione, con la collaborazione delle università locali e delle ONG.

Tra le altre iniziative che rientrano nella strategia regionale di intervento ricordiamo:

- i risultati ottenuti con il progetto "Desertnet - finanziato dal Programma Interreg III B MEDOCC: coordinato dal NRD (nucleo ricerca desertificazione) dell'Università di Sassari e la partecipazione al successivo progetto Desertnet II;

- lo studio sul rischio di desertificazione in Sardegna con la metodologia derivata dal progetto MEDALUS (Kosmas et al., 1999), ha trovato applicazione alla scala 1:100.000 e 1:250.000 allo scopo di definire le aree sensibili alla desertificazione (ESAs) in Sardegna;

- la cooperazione con il progetto DesertWatch su proposta del Comitato Nazionale per la Lotta alla Siccità e/o alla Desertificazione (CNLSA);

- le iniziative di sensibilizzazione nelle scuole coordinate dall'assessorato regionale dell'ambiente;

- la partecipazione ai gruppi di lavoro per lo sviluppo di una strategia tematica europea per la protezione del suolo (cfr. VI Programma di Azione Ambientale dell'Unione Europea e la COM(2002)179 "Verso una strategia per la protezione del suolo")

- le iniziative per avviare la costruzione di un sistema di informazioni spaziali rilevanti ai fini della nuova politica agricola (PAC), con riferimento, in particolare, ai temi dell'ecocondizionalità, delle buone condizioni agronomiche ed ambientali dei terreni (All. IV del Reg. 1782/03) e delle Misure agroambientali (Reg. 1783/03), ai fini della protezione del suolo e del territorio rurale.

4.1.1 *La carta delle aree sensibili alla desertificazione in Sardegna*

L'ERSAT (Ente Regionale di Sviluppo e Assistenza Tecnica in Agricoltura), nell'ambito delle attività previste dalla segreteria tecnica regionale della Presidenza della Giunta per la lotta alla siccità e alla desertificazione per la predisposizione del Piano di Azione Nazionale (PAN) e del Programma Regionale, ha realizzato un programma di azione e monitoraggio con la collaborazione del Servizio Agrometeorologico Regionale per la Sardegna, in particolare finalizzato alla "Realizzazione del sistema informativo geografico per l'individuazione ed il monitoraggio delle aree sensibili alla desertificazione in Sardegna". 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 sull'intero territorio della regione Sardegna, viene ulteriormente dettagliato attraverso l'applicazione di una metodologia più adatta e completa ad una scala maggiore (1:100.000). In particolare 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)

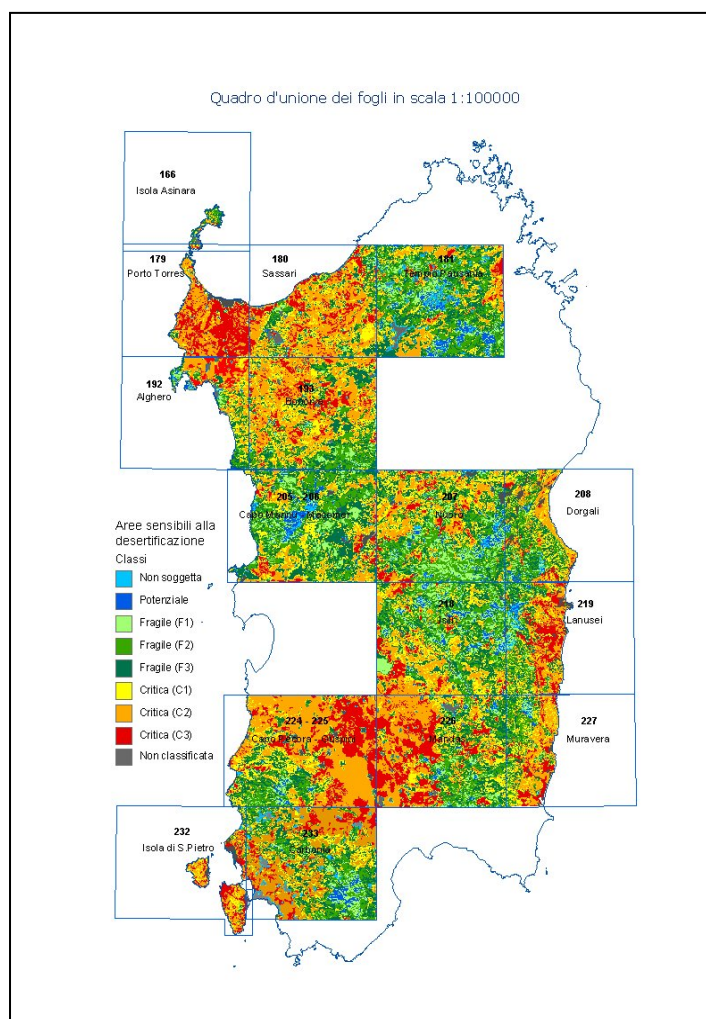


Figura 16 - Localizzazione geografica delle aree oggetto di studio.

I processi di desertificazione in Sardegna individuati dal programma regionale di lotta alla desertificazione sono:

- salinizzazione del suolo e delle falde
- frequenza ed estensione degli incendi boschivi
- contaminazione del suolo e dei corpi idrici
- eccessivo sfruttamento delle risorse idriche ed eventi siccitosi
- degrado del suolo (perdita di suolo, compattazione e sovrappascolamento)
- riduzione o degrado della copertura vegetale
- urbanizzazione e fenomeni di abbandono

Il metodo adottato non è in grado di evidenziare tutti i processi individuati. Esso è stato 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 il territorio in aree 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 cumulo 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:

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

Per la metodologia proposta dagli autori (Kosmas et al., 1999), l'individuazione delle aree sensibili alla desertificazione può essere descritta dallo schema dell'immagine ZXC.

È bene sottolineare come, rispetto a quanto proposto da Kosmas et al. (1999), sia stato necessario apportare delle modifiche nell'applicazione della metodologia ESAs alla 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 primo passo nella progettazione del GIS 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. In particolare:

- Carta Ecopedologica della Sardegna in scala 1:250.000, realizzata da S. Madrau-NRD Università di Sassari per il Joint Research Centre di Ispra nell'ambito della Carta Ecopedologica d'Italia (in stampa)
- Carta Pedologica 1:50000 della Provincia di Sassari realizzata da S. Madrau in scala 1:50000, non ancora pubblicata
- Carta CORINE Land Cover in scala 1:100.000 (Unione Europea)
- Carta CASI3-INEA (Istituto Nazionale di Economia Agraria)
- V Censimento dell'agricoltura, ISTAT 2001
- Carte dei vincoli fornite dal Servizio della Pianificazione Territoriale e della Cartografia della Regione Autonoma della Sardegna - Assessorato degli Enti Locali, Finanze e Urbanistica.

Il sistema di coordinate adottato è stato UTM ED50, per cui tutti i tematismi sono stati georiferiti secondo questa proiezione.

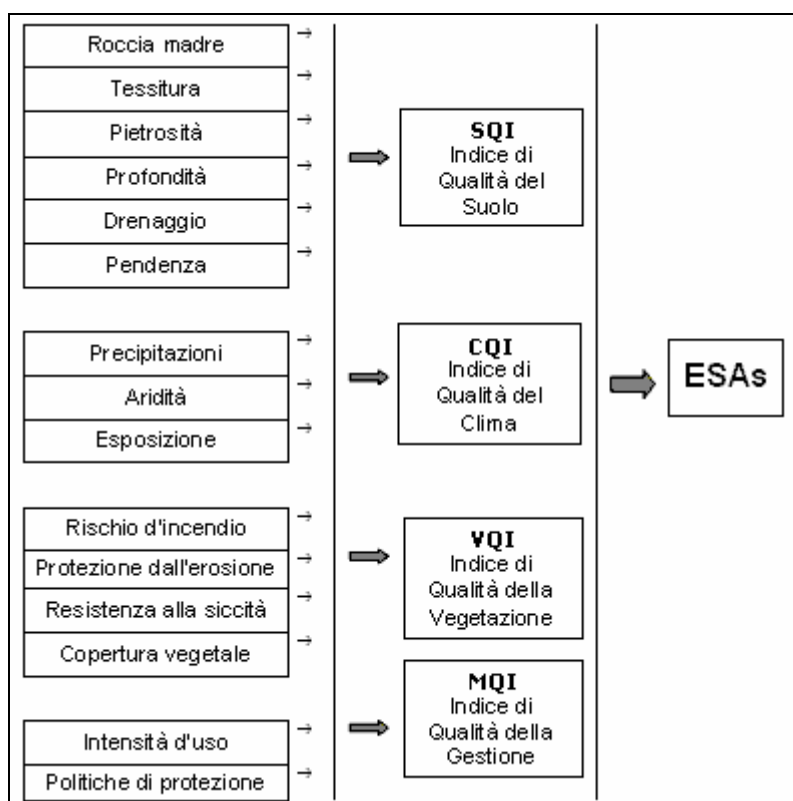


Figura 17 – Schema della metodologia Medalus.

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 ESAI.

Alcuni indicatori sono puntuali (come, ad esempio, i dati delle stazioni meteorologiche) 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.

I principali risultati ottenuti nello studio hanno riguardato il calcolo di ciascun indice di qualità e dell'indice finale ESAI caratterizzato dalle classi e sottoclassi brevemente descritte nella tabella seguente.

Tabella 17 – Classi ESAI..

Classe	Sottoclasse	Caratteristiche
NON SOGGETTA	N	Aree non soggette e non sensibili
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
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
	F2	
	F3	
CRITICA	C1	Aree altamente degradate, caratterizzate da ingenti perdite di materiale sedimentario e in cui i fenomeni di erosione sono evidenti
	C2	
	C3	

Inoltre, è stato possibile individuare la localizzazione geografica e il livello di criticità delle aree maggiormente sensibili al rischio di desertificazione. Nei due grafici seguenti sono riportati i valori percentuali delle differenti classi per l'intera superficie della Sardegna oggetto di studio. La figura SDX mostra un esempio di carte ESAs relative al foglio IGM in scala 1:100000 di Lanusei. Nella legenda sono riportati i valori percentuali della superficie occupata da ciascuna classe di sensibilità alla desertificazione.

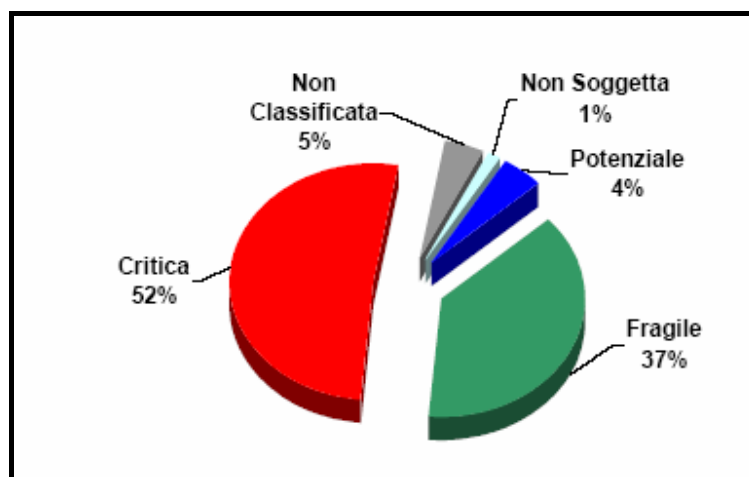


Figura 18 - Suddivisione del territorio della Sardegna in base alla sensibilità alla desertificazione.

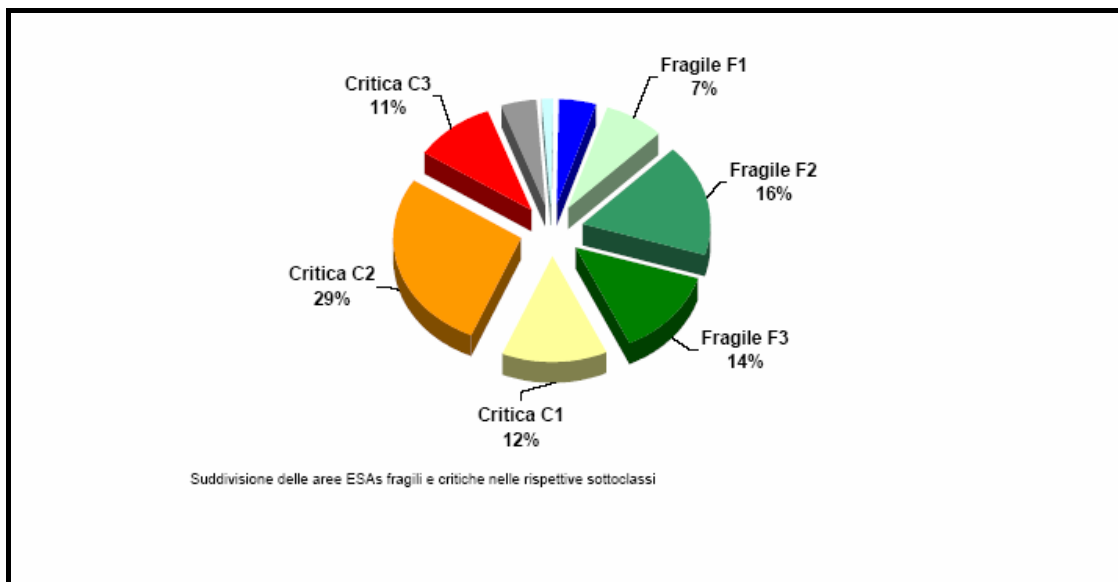


Figura 19 - Suddivisione delle aree fragili e critiche nelle rispettive classi di sensibilità crescente alla desertificazione f1, f2, f3 e c1, c2, c3.

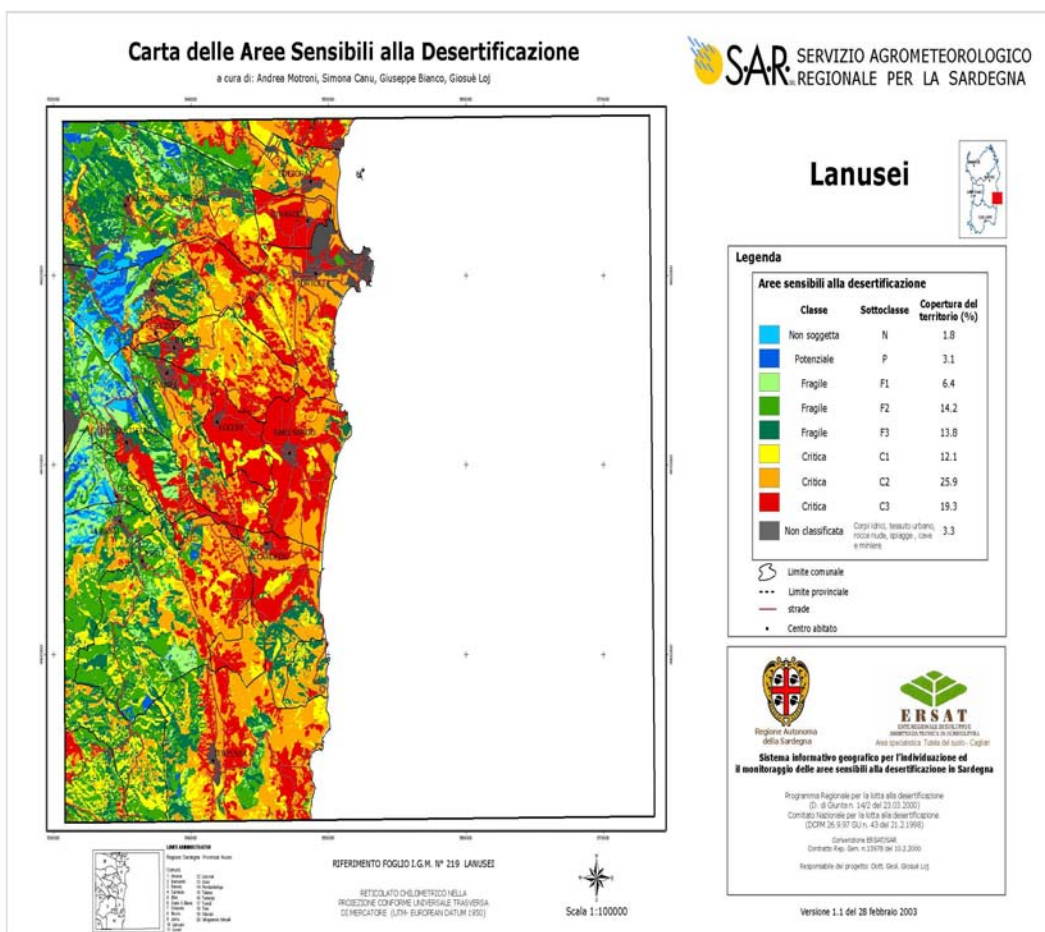


Figura 20 – Carta delle aree sensibili alla desertificazione (Lanusei).

4.1.2 Attività con il Comitato Nazionale per la Lotta alla Siccità e/o alla Desertificazione (CNLSD)

Il CNLSD è un organismo istituito presso il Ministero dell'Ambiente ed è costituito dai rappresentanti dei ministeri e delle regioni interessate, opera sulla base delle disposizioni della delibera CIPE del 21 dicembre 1999.

L'obiettivo che il CNLSD si prefigge consiste nell'organizzare e nel coordinare azioni comuni di lotta alla siccità e alla desertificazione, attraverso la raccolta di informazioni sui seguenti settori:

-normative, piani e strategie: azioni di tipo legislativo, piani e strategie con influenza diretta o indiretta su mitigazione e/o monitoraggio dei processi di siccità e di desertificazione;

-finanziamenti: indicazione degli impegni finanziari in termini di spesa e di disponibilità destinati alla realizzazione di interventi o per azioni conoscitive, specificando, in particolare, il settore della ricerca scientifica, per combattere la siccità e la desertificazione;

-opere: quadro delle principali opere realizzate o in corso di esecuzione correlate alla lotta alla siccità e/o alla desertificazione;

-conoscenza: valutazione dello stato della conoscenza dei fenomeni, in tema di siccità e di desertificazione, in relazione al mondo della ricerca scientifica ed ai sistemi di diffusione delle informazioni.

Nell'ambito di tali attività il CNLSD ha promosso e coordina la partecipazione di alcune regioni italiane al progetto DesertWatch.

La partecipazione della regione sardegna non prevede trasferimenti di risorse finanziarie ma solo di prodotti e servizi: In particolare il data base sulle aree a rischio desertificazione e modelli di elaborazione sulla base di dati satellitari.

La partecipazione al progetto DesertWatch, in corso di realizzazione da parte dell'ESA l'agenzia spaziale europea e coordinata per l'Italia dal CNLSD, comporterà l'acquisizione gratuita da parte della regione di informazioni e metodologie di alto livello ed aggiornate, che saranno integrate nel Programma regionale per la lotta alla desertificazione.

4.1.3 La partecipazione ai programmi d'iniziativa comunitaria Interreg III B Medocc: Desertnet

Il progetto DESERTNET, conclusosi nel dicembre 2004, ha costituito un insieme organico relativo allo studio, al monitoraggio ed alla gestione sostenibile delle aree a rischio di desertificazione nel bacino mediterraneo, ed ha visto coinvolti 14 partner di varie regioni, italiane e europee, con l'Università di Sassari-NRD(nucleo ricerca desertificazione) come capofila;

Nel corso del progetto è stata realizzata una razionalizzazione delle informazioni e delle esperienze tecnico – scientifiche acquisite ed elaborate per tutte le aree a rischio, delle regioni partecipanti, che sono state individuate nell'ambito dei programmi regionali e nazionali per contribuire alla realizzazione di un sistema omogeneo per lo scambio dei dati e delle informazioni e per il controllo dei processi di desertificazione.

La Regione Autonoma della Sardegna ha partecipato al progetto, realizzando tutte le attività previste:

- Realizzazione del sistema informativo geografico per l'individuazione ed il monitoraggio delle aree sensibili alla desertificazione in Sardegna"

- Studio della area pilota di Irgoli;

la Regione Sardegna dispone così di una buona base di dati scientifici e di informazioni. La partecipazione al progetto DesertNet 2, recentemente presentato con il coordinamento della

Regione Basilicata, è finalizzata ad implementare la piattaforma di servizi già realizzata all'interno dei processi di pianificazione e dei sistemi informativi regionali già esistenti, al fine di favorire l'attuazione dei principi e dei progetti previsti dal Programma Regionale sopra citato, nell'ambito delle azioni transnazionali previste dal PIC INTERREG in accordo con le indicazioni del Comitato nazionale per la lotta alla desertificazione. In particolare, in continuità con il precedente, il nuovo progetto, nel contesto del programma regionale per la lotta alla desertificazione, prevede l'integrazione, nelle strutture regionali interessate, delle conoscenze condivise sulla Piattaforma di Servizi:

- di allargare a tutte le strutture interessate, quali definite dalla Deliberazione CIPE sopra citata, la rete di collegamento internet della piattaforma di servizi;
- di dare accesso al sistema informativo geografico comune a tutte le strutture regionali interessate;
- di individuare indicatori di monitoraggio dei processi di desertificazione;
- di mettere a disposizione delle strutture interessate come sopra indicate i modelli e gli algoritmi di valutazione dei processi;
- di condividere con le strutture interessate le esperienze di mitigazione realizzate nel bacino mediterraneo;
- di valutare i risultati, (positivi e negativi), delle azioni pilota regionali;
- di dare informazioni e di sensibilizzare le strutture locali e la popolazione relativamente ai rischi e alla gestione corretta della risorse naturali
- di stimolare il flusso di informazioni all'interno dell'amministrazione e verso l'esterno;

Le attività del progetto verranno svolte attraverso gruppi di lavoro interservizi, interregionali e transnazionali. Non dovranno sovrapporsi quindi alle iniziative già programmate dall'amministrazione regionale ma creeranno sinergie tra le stesse nel quadro di un'azione complessiva strategica che parte dalla adesione italiana alla convenzione ONU per la lotta alla desertificazione e dai principi stabiliti dal programma nazionale con la Deliberazione CIPE n. 299 del 21.12.1999.

Tra i principali output delle attività regionale dovrà avere uno spazio importante la definizione di criteri per l'applicabilità e la trasferibilità delle misure di lotta alla desertificazione e di indicatori per valutare l'impatto delle misure stesse.

la Regione intende valorizzare le conoscenze scientifiche già sviluppate nel corso del primo Desertnet ed eventualmente di altre iniziative, partendo dalle attività pilota dimostrative già realizzate, quindi non di studio o di ricerca sperimentale, finalizzate alla progettazione e implementazione di misure e di strumenti tecnici di supporto alla pianificazione territoriale, alla prevenzione, alla mitigazione e al recupero.

4.1.4 La protezione del suolo

Gli strumenti principali previsti dalla recente riforma della PAC (Politica Agricola Comunitaria) (Reg. (CE) n.1782/2003) sono, come noto, il "disaccoppiamento" (passaggio dal sostegno diretto al prodotto al sostegno al produttore), la "modulazione" (spostamento di risorse dal I al II pilastro tramite la riduzione progressiva degli aiuti diretti alle aziende per incrementare il finanziamento delle misure di sviluppo rurale) e la "condizionalità ecologica obbligatoria".

La "condizionalità" è lo strumento attraverso la quale l'agricoltura e quindi la PAC dovranno contribuire alla realizzazione delle politiche ambientali e territoriali dell'Unione. Una attenzione specifica è riservata al suolo e alla necessità di poter determinare gli indicatori necessari richiesti dalla PAC

Lo sviluppo di una strategia tematica europea per la protezione del suolo è attualmente in corso di elaborazione (COM(2002)179 "Verso una strategia per la protezione del suolo") ed è richiamata in numerosi accordi internazionali, dalla convenzione delle Nazioni Unite per la lotta contro la desertificazione, alla convenzioni delle Alpi, al, più recentemente, Protocollo di Kyoto

relativo al controllo delle emissioni gas clima alteranti. I lavori preparatori per la stesura della Strategia Tematica sul Suolo si sono recentemente conclusi con la prospettiva che la nuova Commissione si orienti verso una direttiva quadro.

Le azioni di prevenzione per fermare il degrado del suolo e la lotta alla desertificazione sono orientate ad un approccio integrato delle politiche comunitarie ed è in questo contesto che dovrà svolgersi l'azione regionale.

A sostegno di questa strategia, è indispensabile dotarsi di un approfondito quadro di conoscenze sui suoli e sul sistema rurale, che consenta, in prospettiva, la creazione di una rete e di un sistema di indicatori per il monitoraggio dello stato, delle pressioni e degli impatti sulla risorsa suolo e per la verifica degli effetti e dell'efficacia delle misure adottate.

Gli strati informativi a scala regionale 1:250.000 messi a disposizione dalla carta ecopedologica realizzata dall'NRD-Università di Sassari (coordinata con il Progetto "Prima approssimazione della base dati georeferenziata dei suoli d'Italia alla scala 1:250.000" – Programma Interregionale Agricoltura e Qualità, Misura 5) sono un primo passo in questa direzione.

Il passo successivo sarà orientato a coordinare tali informazioni spaziali rilevanti ai fini della PAC, con riferimento, in particolare, ai temi dell'ecocondizionalità, delle buone condizioni agronomiche ed ambientali dei terreni (All. III e IV Reg. 1782/03) e delle misure agroambientali (Reg. 1783/03).

4.1.5 Conclusioni

In Sardegna, l'insieme dei processi di desertificazione individuati (perdita di suolo, siccità, alluvioni, deforestazione, incendi, dissesti, erosione delle aree costiere, etc.) assumono rilevanza, per dimensione ed andamento evolutivo, rispetto ad altre regioni del sud Europa.

La gravità del fenomeno è particolarmente importante in quanto i diversi ecosistemi, naturali e/o agricoli, sono estremamente vulnerabili a causa delle specificità geografiche e climatiche dell'isola (insularità).

Attraverso il programma regionale sono state identificate due tipi di iniziative:

- Azioni finalizzate a piani programmi, studi e monitoraggi
- Azioni infrastrutturali e di mitigazione

La stima degli interventi è stata valutata intorno a 1258,18 M euro.

Problemi emersi da una verifica del programma regionale:

- La desertificazione non è sufficientemente riconosciuta come un problema complesso;
- Le linee di budget attualmente disponibili non sono sufficienti;
- Le informazioni e il monitoraggio della diffusione dei processi di desertificazione sono cruciali per indirizzare i programmi di azione;
 - E' necessario un maggiore sforzo di coordinamento tra la nuova PAC, infrastrutturali, ambientali, di ricerca, gestione delle acque, gestione dei rifiuti, piani di bacino e i Fondi strutturali;
 - E' necessaria una revisione del programma regionale per la lotta alla desertificazione con un maggiore coordinamento con i programmi locali secondo l'orientamento della nuova PAC e delle linee guida individuate dalla futura proposta di direttiva quadro sul suolo;
 - La cartografia delle aree sensibili ed il metodo sinora utilizzato fornisce una valutazione complessiva delle aree a scala regionale ma non descrive sufficientemente alcuni processi.

4.2 Sicilia

Negli ultimi anni il problema della desertificazione, originariamente oggetto di studio solo per gli specialisti di scienze dell'ambiente, è diventato argomento di grande attualità per le evidenti ripercussioni di carattere economico e sociale che investono non soltanto i cosiddetti paesi in via di sviluppo ma anche i paesi ad economia più evoluta. Questi ultimi sono interessati dal fenomeno in maniera diretta (degrado del suolo causato da un impatto antropico superiore alla sostenibilità del sistema) ma anche in maniera indiretta (migrazioni di massa di popoli provenienti da nazioni fortemente interessate dal problema). L'Italia può essere considerato uno dei paesi industrializzati del bacino del Mediterraneo che risente maggiormente degli effetti diretti ed indiretti della desertificazione; tralasciando, non essendo questa la sede più opportuna, di discutere sulla problematica delle migrazioni di massa, si può di contro affermare che il fenomeno del "degrado delle terre", e più specificatamente del suolo, ha assunto nell'Italia meridionale una dimensione preoccupante non soltanto per gli effetti che sono visibilmente in atto, ma anche per le prospettive future che il fenomeno minaccia di assumere se dovessero perdurare le condizioni che hanno innescato determinati processi degenerativi.

In questo contesto la Sicilia, si presenta in condizioni molto particolari e variegata, a causa dalla grande varietà di situazioni litologiche, morfologiche e climatiche riscontrabili, le quali a loro volta generano una grande varietà di suoli caratterizzati da una più o meno accentuata vulnerabilità ai processi di degrado. E' bene in via preventiva precisare che i fattori di desertificazione riscontrabili nel Territorio Siciliano sono essenzialmente l'erosione e la salinizzazione; entrambi i fattori descrivono processi che si sviluppano a carico del suolo, perché è il suolo l'elemento ambientale che risente del fenomeno della desertificazione; entrambi i fattori descrivono altresì processi di natura essenzialmente antropica, poiché è la gestione non ortodossa delle risorse suolo ed acqua che innesca, in modo talora irreversibile, i fenomeni di erosione e salinizzazione; in questo ambito, eventuali processi di mutamento climatico giocano un ruolo determinante di catalizzatore della desertificazione nel suo complesso.

Come si accennava in precedenza, la Sicilia è caratterizzata da una grande varietà di ambienti dal punto di vista litologico e morfologico: si riscontra, infatti, una dorsale montuosa settentrionale continua che, partendo da Messina e in direzione parallela alla linea di costa, arriva sino alla provincia di Palermo; tale dorsale è costituita nell'ordine dai Monti Peloritani, prevalentemente caratterizzati da rocce metamorfiche e che costituiscono la parte terminale della formazione geologica denominata "Arco Calabro-Peloritano", dai Monti Nebrodi, caratterizzati da rocce sedimentarie di natura generalmente arenacea, e dai Monti Madonie, prevalentemente costituiti da rocce calcaree. La zona collinare interna, individuabile in linea di massima con le province di Caltanissetta, Enna e parte delle province di Palermo ed Agrigento, è caratterizzata dalla presenza di sedimenti argillosi e/o marnosi del Terziario, mentre nelle zone costiere delle province di Palermo, Trapani, e Agrigento si riscontrano diversi ordini di terrazzi marini risalenti al Quaternario. La zona sud-orientale della Sicilia, che coincide in massima parte con le province di Siracusa e Ragusa, è dominata dalla presenza di un grande altopiano calcareo del Terziario (Altopiano Ragusano) e, subordinatamente, da calcareniti del Quaternario ubicate sulle coste e da una certa diffusione di vulcaniti basaltiche del Pleistocene del complesso vulcanico dell'Etna. La Provincia di Catania infine è caratterizzata dalla presenza dei sedimenti alluvionali più o meno terrazzati della cosiddetta "Piana di Catania" e dal massiccio vulcanico dell'Etna. Va infine ben evidenziato che in Sicilia è largamente diffusa la formazione geologica denominata "Gessoso-Solfifera", la quale parte dalle coste meridionali dell'Isola, nella zona della provincia di Agrigento, e procede secondo un'asse con direzione SO-NE posizionandosi nelle province di Agrigento, Caltanissetta de Enna con diramazioni anche nelle Province di Trapani, Palermo e Catania.

Una tale varietà di litologie e, conseguentemente, di morfologie che da queste derivano, da luogo, come accennato precedentemente, a processi pedogenetici molto differenti e quindi a suoli estremamente variabili; se si considera la classificazione dei suoli denominata “Soil Taxonomy” dell’U.S. Department of Agriculture, possiamo vedere che in Sicilia sono largamente presenti almeno sei ordini di suoli, e precisamente gli Entisuoli, gli Inceptisuoli, gli Alfisuoli, i Vertisuoli, i Mollisuoli e gli Andisuoli; la sensibilità di questi suoli ai processi di degrado dipenderà quindi dalle peculiarità che differenziano fra loro i vari Ordini nonché dalle condizioni morfologiche, di copertura vegetale e di gestione agronomica in cui gli stessi si vengono a trovare.

Si accennava inoltre precedentemente che i principali fattori di desertificazione riscontrabili in Sicilia sono essenzialmente, l’erosione dei suoli e la salinizzazione dei suoli. Entrambi i processi assumono forme e manifestazioni differenti a secondo delle diverse condizioni pedoambientali in cui i processi medesimi si manifestano. Sulle morfologie collinari delle aree interne ad esempio, costituite generalmente da suoli a matrice argillosa spesso con caratteristiche vertiche, si riscontrano gli esempi più diffusi di fenomeni di erosione diffusa (sheet erosion) ed incanalata (rill, interrill e gully erosion); in taluni casi i processi assumono proporzioni più imponenti, manifestandosi con notevoli fenomeni di erosione di massa (frane, soliflusso). I fenomeni descritti vengono innescati da una serie di cause che concorrono a generare le manifestazioni erosive: l’uso del suolo, prevalentemente seminativo, e le relative lavorazioni del suolo costituiscono il fattore scatenante principale dell’erosione sulla collina interna argillosa; le lavorazioni lungo le linee di massima pendenza (cosiddette “a rittochino”) innescano l’erosione incanalata, mentre altre concause che intervengono occasionalmente, quali ad esempio il sovrapascolamento successivo alla trebbiatura, con il conseguente compattamento superficiale, e la bruciatura delle ristoppie, provocano la degradazione della struttura dell’orizzonte superficiale e la distruzione di sostanza organica. Un cenno a parte richiede un tipo di gestione del suolo, fino a poco tempo fa abbastanza diffuso in diversi comprensori tradizionalmente cerealicoli, finalizzato quasi esclusivamente al percepimento del contributo per l’integrazione al reddito del frumento duro; tale gestione prevedeva la monocoltura cerealicola, pratica già di per sé devastante, a lungo andare, per le caratteristiche chimiche, fisiche e biologiche del suolo, nonché la riduzione all’essenziale delle pratiche agronomiche, effettuando quindi la preparazione del terreno con una sola lavorazione superficiale, realizzata con l’erpice e ripetuta negli anni sempre alla stessa profondità, e la semina; in molti casi la trebbiatura non veniva neanche effettuata perché antieconomica. Un tale uso del suolo genera un compattamento eccessivo degli orizzonti sottostanti allo strato lavorato (suola di lavorazione), provocato dalla lavorazione superficiale ripetuta negli anni sempre alla stessa profondità, un degrado delle caratteristiche chimico-fisiche del terreno e della sostanza organica, causato dalla monocoltura, e di conseguenza una maggiore predisposizione del suolo a fenomeni di erosione diffusa e di massa.

Le aree interne caratterizzate da suoli a matrice prevalentemente argillosa e un uso del suolo a seminativo costituiscono le zone dove si individuano le manifestazioni erosive più imponenti; tuttavia altre zone sono interessate dal fenomeno, anche se in modo meno evidente. I Monti Peloritani ad esempio possono essere fortemente interessati da processi erosivi in quanto la litologia che li costituisce è data prevalentemente da metamorfiti, ed in particolare da rocce scistose; se il suolo viene privato della copertura vegetale, e quindi si trova esposto ad eventi meteorici di forte intensità, le pendenze, talvolta molto accentuate, causano macroscopici fenomeni erosivi. Una tale situazione si verifica, nel comprensorio in argomento, allorché il suolo in pendenza viene lavorato e lasciato esposto all’azione delle precipitazioni: in questi casi si possono verificare, repentinamente da un anno all’altro, manifestazioni erosive di notevole imponenza; non meno grave e importante è il caso in cui si combinano le condizioni di incendio e sovrapascolamento: all’azione infatti di asportazione della copertura vegetale e di distruzione della sostanza organica del suolo provocata dall’incendio, si aggiunge l’azione di pascolamento del bestiame che asporta la magra vegetazione che si sviluppa e compatta il suolo distruggendo la struttura dell’orizzonte superficiale. L’esclusiva presenza dell’una o dell’altra condizione

provoca un degrado maggiormente diluito nel tempo, mentre la combinazione delle due situazioni accelera fortemente il processo erosivo.

Un cenno a parte meritano i fenomeni di degradazione della struttura osservati in taluni ambienti apparentemente immuni o molto poco vulnerabili ai fenomeni di desertificazione. In particolare, sui terrazzi marini calcarenitici delle aree costiere meridionali, caratterizzati da suoli evoluti (Alfisuoli), profondi e con un alto contenuto in limo, sono stati osservati fenomeni di “hardsetting”, ovvero un indurimento dell’orizzonte superficiale che si verifica durante il periodo di siccità del suolo e una degradazione della struttura in condizioni di saturazione del suolo. Il verificarsi di tali situazioni è dovuto principalmente alla forte presenza percentuale della componente limosa nella granulometria di questi suoli che li rende particolarmente vulnerabili; ma è soprattutto una gestione non ottimale delle lavorazioni del terreno che provoca l’insorgere del fenomeno in tutta la sua gravità: l’Hardsetting infatti è stato notato principalmente negli impianti arborei dove venivano eseguite ripetute lavorazioni nel corso dell’anno con attrezzi con organi rotanti (fresa), molto pesanti e che soprattutto provocano la polverizzazione dell’epipedon, l’impoverimento in sostanza organica ed il compattamento dello strato sottostante; in queste situazioni un evento meteorico anche di media intensità può provocare la formazione di crosta superficiale e soprattutto un’erosione diffusa (sheet erosion) difficilmente avvertibile ma non per questo meno deleteria.

Per quanto invece concerne la salinizzazione dei suoli è bene precisare, in via preventiva, che il fenomeno si articola secondo due problematiche differenti: si distingue, infatti, una salinità naturale dei suoli, dovuta al substrato pedogenetico su cui il suolo evolve, da una salinità indotta, che viene causata dall’irrigazione dei suoli con acque salmastre e quindi da un effetto antropico. In Sicilia è facile riscontrare diversi esempi di entrambi i tipi di salinità; infatti, come si accennava precedentemente, è molto diffusa nel territorio la cosiddetta “Serie Gessoso-Solfifera”, e di conseguenza i suoli che evolvono sopra le rocce che la costituiscono avranno una salinità molto elevata. La difficoltà invece nel reperimento di acque irrigue, ha indotto gli agricoltori di alcuni comprensori ad utilizzare acque con un alto tenore in sali: tale pratica, protrandosi negli anni, ha causato un forte innalzamento della salinità dei suoli di alcuni comprensori, ubicati generalmente nelle pianure costiere, e, in alcuni casi particolarmente gravi (ad es. Piana di Licata), sono stati notati fenomeni di degradazione della struttura dovuto alla forte presenza percentuale di sali di sodio. Le acque anomale utilizzate per l’irrigazione possono avere diverse origini: possono provenire da corsi d’acqua che lungo il loro corso attraversano litologie costituzionalmente salmastre, possono provenire da pozzi che hanno intercettato falde sospese di acqua salmastra o infine possono provenire da pozzi realizzati in prossimità delle coste, in questo caso un utilizzo eccessivo può provocare l’ingresso dell’acqua marina ed il conseguente inquinamento della falda. Talvolta è comunque possibile riscontrare, anche non in evidente presenza delle condizioni sin qui descritte, un certo tenore in sali in particolar modo nei suoli di fondovalle tendenzialmente argillosi; situazioni del genere non sono infrequenti ad esempio nei Vertisuoli della Piana di Catania, nei quali si può riscontrare una salinità che a volte si trova ad una profondità che non coinvolge il franco di coltivazione, ma in altre situazioni può essere riscontrata anche negli orizzonti superficiali; in questo ultimo caso è possibile che l’irrigazione delle colture orticole, molto frequenti in questi suoli, e la notevole microporosità degli stessi, abbiano provocato una risalita capillare dei sali sino agli orizzonti superficiali.

Da quanto detto sinora risulta evidente che, nella maggior parte dei casi, l’avvio dei processi di degrado, sia che si tratti di erosione che di salinizzazione, è innescato da una gestione antropica del suolo non sostenibile, di conseguenza qualsiasi strategia di lotta alla desertificazione dovrà prevedere principalmente l’adozione di tecniche di gestione conservative da porre in essere non soltanto a livello aziendale ma anche a livello comprensoriale; nel caso quindi della lotta all’erosione, le scelte da adottare dovranno favorire l’infiltrazione delle acque meteoriche nel suolo e, più in generale, incrementare il tempo di corrivazione del bacino nel quale si interviene. In determinate condizioni, ad esempio, sistemazioni del terreno come il gradonamento possono essere di grande efficacia e risolutive per ciò che concerne l’infiltrazione

delle acque meteoriche: nei comprensori montani dei Nebrodi e dei Peloritani la realizzazione di superfici gradonate, su pendici non eccessivamente acclivi, in abbinamento con il rimboschimento, ha sortito notevoli effetti positivi in ordine alla conservazione della risorsa suolo, all'infiltrazione delle acque nel terreno ed all'incremento del patrimonio boschivo. E' evidente che eventuali sistemazioni del terreno dovranno tenere conto non soltanto della pendenza della superficie ma anche del tipo di suolo e della litologia sul quale lo stesso evolve: ad esempio in aree caratterizzate da suoli fortemente argillosi il gradonamento non sortirebbe effetti positivi, considerata la scarsa permeabilità delle argille.

Per ciò che invece concerne la salinizzazione, un'efficace lotta ai processi di desertificazione non può prescindere dal monitoraggio del livello di salinità del suolo e delle acque di irrigazione, prendendo in considerazione anche l'eventualità di un uso di colture tolleranti ai sali (ad es. carciofo), laddove le condizioni socioeconomiche del comprensorio lo consentano.

Tali strategie vengono attivate, ove possibile, dai Servizi allo Sviluppo dell'Assessorato Agricoltura e Foreste della Regione Siciliana che, con un attento lavoro di divulgazione, informano le aziende dei rischi ambientali ed economici che si corrono arando a rittochino pendici che superano una determinata soglia di acclività o utilizzando ripetutamente per l'irrigazione acque ad alta salinità; in ogni caso qualsiasi azione di lotta da intraprendere non può prescindere da una dettagliata conoscenza delle risorse naturali e delle caratteristiche fisiche e chimiche del territorio nel quale si intende intervenire. In quest'ottica i Servizi allo Sviluppo precedentemente accennati portano avanti ormai da diversi anni un programma di realizzazione di cartografia digitale pedologica e di uso del suolo a grande scala, finalizzato ad accrescere il patrimonio di conoscenze ambientali e soprattutto alla realizzazione di banche dati utili alla pianificazione degli interventi sul territorio. Attualmente lo stato dell'arte mostra, per quanto riguarda l'uso del suolo, una percentuale pari a circa il 30% della superficie regionale rilevata in scala 1:25.000, mentre per quanto concerne la cartografia pedologica in scala 1:25.000, la superficie rilevata a grande dettaglio è pari a circa il 4%; la previsione per i prossimi due - tre anni è di riuscire ad ottenere il 100% della superficie regionale come cartografia di uso del suolo in scala 1:25.000, il 20- 25% di cartografia pedologica in scala 1:25.000 e/o 1:50.000, nonché di realizzare la nuova carta dei suoli della Sicilia in scala 1:250.000. Tutta la cartografia prodotta è disponibile in formato digitale con le relative banche dati, ed analogamente si opererà per quanto concerne la cartografia in corso di realizzazione. L'Amministrazione ha comunque provveduto, con le risorse cartografiche disponibili, a mettere a punto una metodologia per la redazione di una carta in scala 1:250.000 delle aree vulnerabili al rischio di desertificazione in Sicilia; la carta che ne è scaturita, data l'incompletezza del dato grezzo di partenza, non può essere considerata esaustiva sulla distribuzione e sulla dimensione del fenomeno nel territorio regionale ma rappresenta comunque una buona base di partenza per l'individuazione di massima delle aree maggiormente sensibili.

Appare infine opportuno citare le iniziative finanziate dall'Amministrazione Regionale con i fondi comunitari finalizzate alla lotta alla desertificazione. Tralasciando le misure agroambientali attivate con il POP 94-99, orientate prevalentemente al recupero ed alla cura dei terreni marginali, appare utile evidenziare la Misura 1.09 del Programma Operativo Regionale (POR) Sicilia 2000 - 2006, denominata "Mantenimento dell'originario uso del suolo attraverso il recupero della funzionalità dei sistemi naturali, il mantenimento dell'uso tradizionale agroforestale del territorio, la prevenzione degli incendi, la prevenzione e la riduzione dei fenomeni di desertificazione" attivata dal Dipartimento Regionale alle Foreste, ed orientata prevalentemente verso la ricostituzione dei boschi e degli ecosistemi danneggiati da incendi o da eventi naturali, nonché investimenti atti a prevenire gli incendi boschivi e la riduzione del rischio da innesco e propagazione del fuoco, e inoltre investimenti di carattere silvo-colturale atti a ridurre l'erosione e la desertificazione miranti, nell'ambito di un bacino, al recupero di una efficiente funzione idrogeologica e alla difesa del suolo; soggetti attuatori della misura sono gli uffici periferici dell'Amministrazione Forestale della Regione e gli Enti locali. Nell'ambito del Piano di Sviluppo Rurale (PSR) è stata invece attivata la Misura H che prevede la realizzazione

di impianti boschivi, anche a scopo di protezione e a salvaguardia del suolo, da realizzarsi su terreni di privati. Infine, nell'ambito del Programma INTERREG IIC, la Regione Siciliana ha partecipato al progetto denominato DESERTNET, la cui finalità era di attivare, nelle varie regioni partecipanti, una serie di iniziative volte alla lotta e/o alla mitigazione dei fenomeni di desertificazione; nel caso della Sicilia, l'Amministrazione regionale ha ritenuto opportuno prendere in considerazione il fenomeno dell'erosione che, con evidenza più o meno accentuata, si manifesta diffusamente in tutto il territorio regionale, sia sotto forma di interrill erosion che come rill e gully erosion. In quest'ottica è stata quindi scelta l'area pilota ubicata presso l'Azienda Sparacia nel territorio del comune di Cammarata (AG), dove la Sezione di Idraulica del Dipartimento di Ingegneria e Tecnologie Agroforestali dell'Università di Palermo ha localizzato diversi dispositivi atti a misurare i processi erosivi su suoli argillosi. L'obiettivo era di monitorare l'intensità e l'evoluzione del fenomeno erosivo in differenti condizioni di gestione agraria del suolo, a scala sia di parcella di differente dimensione, sia di bacino, e in un ambiente tipico e molto diffuso non soltanto nell'entroterra della Sicilia ma in tutta l'area del Mediterraneo; i risultati ottenuti, presentati durante il seminario conclusivo del progetto, costituiscono un valido punto di riferimento per quantizzare il fenomeno, in termini di perdita di suolo agrario, sotto analoghe condizioni pedo-ambientali.

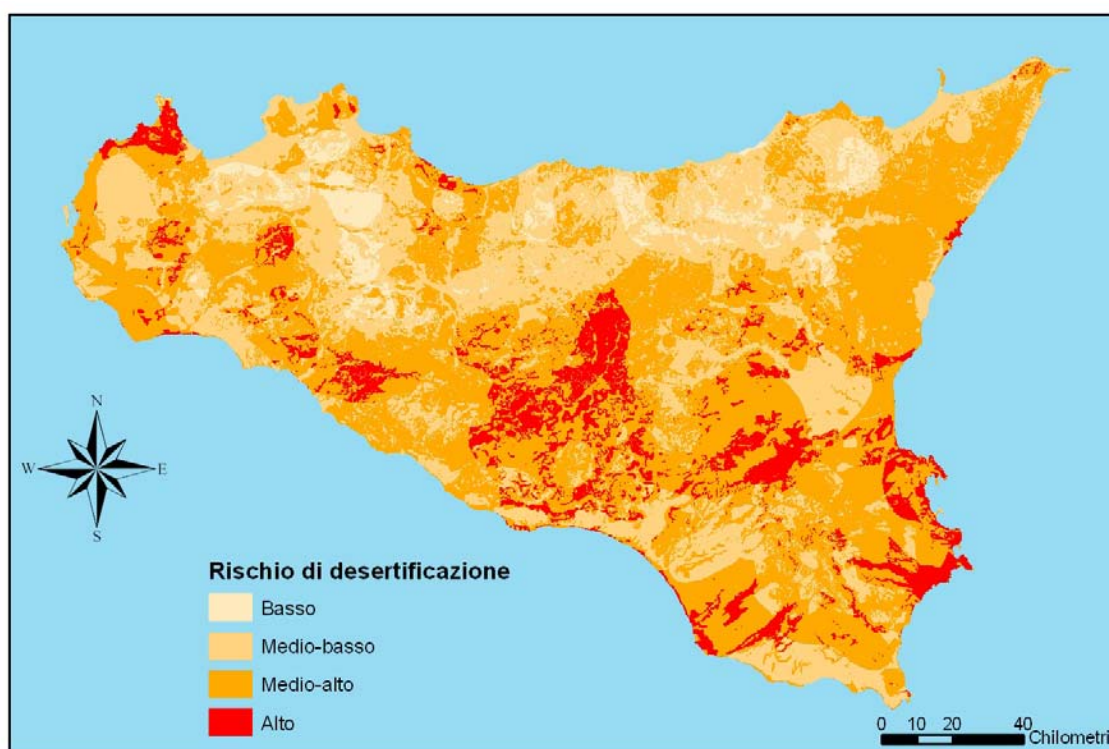


Figura 21 – Rischio di desertificazione in Sicilia (fonte: Regione Sicilia – Assessorato all'Agricoltura).

4.3 Calabria

L'erosione idrica rappresenta la principale causa di degrado dei suoli a livello regionale. Allo scopo di acquisire conoscenze sui vari aspetti del fenomeno e di definire strategie d'intervento finalizzate alla gestione sostenibile della risorsa suolo, è stata effettuata una specifica valutazione territoriale (ARSSA, in corso di pubblicazione). L'applicazione della metodologia RUSLE per la valutazione del rischio erosivo ha evidenziato come ben il 51,8% del territorio regionale è soggetto ad erosione, di cui il 39,4% ricade nelle classi da "moderata" a "catastrofica" ed il 12,4% nella classe "erosione leggera". Il rimanente 48,2% del territorio è invece interessato da erosione "nulla" o "trascurabile". Il dato medio regionale d'erosione è pari a 1,9 mm/ha/anno.

Analoghi risultati sono derivati dall'applicazione della metodologia "qualitativa" proposta da Giordano (Giordano et al., 1991), secondo la quale il 44% del territorio non presenta rischio, il 14,7% presenta basso rischio, il 30,2% rischio moderato ed il rimanente 10,6% rischio alto.

Tabella 18 - Classi d'erosione idrica del suolo in Calabria con le metodologie Rusle e Corine.

Classi di erosione idrica del suolo - Metodologia RUSLE		Classi di erosione idrica del suolo - Metodologia CORINE
mm/anno	Situazione attuale	Situazione attuale
0.0 - 0.05	Erosione nulla o trascurabile 48,2% della superficie regionale	Erosione nulla o trascurabile 44,4% della superficie regionale
0.05 - 0.5	Erosione leggera 12,4% della superficie regionale	Erosione leggera 14,7% della superficie regionale
0.5 - 1.5	Erosione moderata 7,29% della superficie regionale	Erosione moderata- severa 30,2% della superficie regionale
1.5 - 5.0	Erosione severa 18,8% della superficie regionale	
5.0 - 20.0	Erosione molto severa 12,9% della superficie regionale	Erosione molto severa - catastrofica 10,7% della superficie regionale
>20	Erosione catastrofica 0,42% della superficie regionale	

I risultati ottenuti con i due metodi di valutazione sono molto coerenti con la realtà oggettiva del territorio calabrese per come emerso dai lavori al semidettaglio. (fotointerpretazione e rilevamento in campagna) effettuati su circa il 20% del territorio stesso, nonché dalle informazioni rese disponibili dalla Carta dei Suoli della Calabria in scala 1:250.000.

Il rischio "potenziale" d'erosione calcolato con la metodologia Giordano prospetta la situazione legata ai soli fattori fisici escludendo la copertura vegetale. La lettura combinata delle carte del "rischio potenziale" e quella del "rischio attuale" evidenzia il grande ruolo svolto dalla vegetazione arborea ed arbustiva nelle aree interne potenzialmente ad alto rischio. A tale proposito è opportuno ricordare che con i suoi 479.000 ha la Calabria si pone fra le regioni italiane con più alto indice di boscosità (35,6 %). Della superficie a bosco, circa un terzo (ben 153.000 ha) deriva dalla forte azione di rimboschimento svolta nella seconda metà del secolo scorso per effetto delle leggi speciali per la Calabria. Gli interventi di rimboschimento hanno riguardato principalmente le zone interne della pre-Sila, delle serre catanzaresi e dell'Aspromonte che rappresentano le aree potenzialmente a maggiore rischio idrogeologico.

Dall'esame degli elaborati emerge, inoltre, che le aree a maggiore rischio attuale d'erosione risultano coincidenti con le destinazioni agricole del territorio. In particolare molte aree ad elevato rischio sono rappresentate dai rilievi collinari a bassa quota con destinazione ad oliveto o a grano duro in monosuccessione. I fenomeni erosivi sono molto più evidenti nel versante ionico rispetto a quello tirrenico sia per diversa erodibilità dei suoli sia per diversa erosività delle piogge.

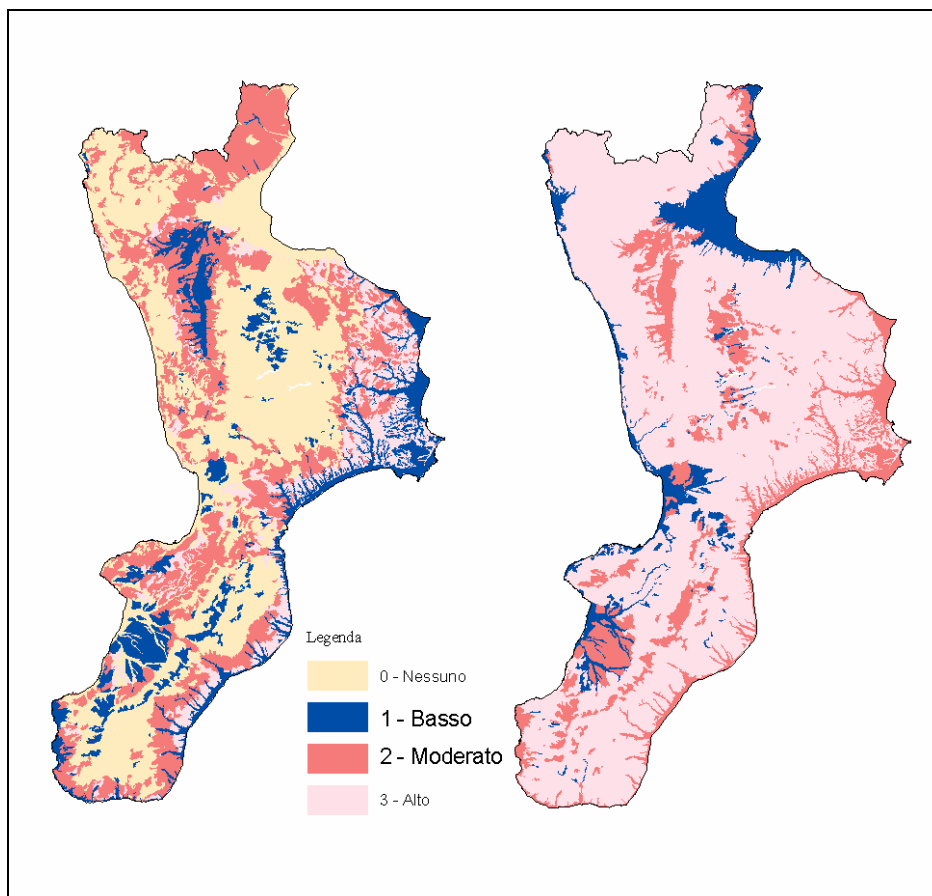


Figura 22 – Rischio attuale e rischio potenziale.

Allo scopo di verificare l'efficacia dell'eventuale introduzione di tecniche agronomiche sostenibili per la risorsa suolo e verosimili per l'ambiente calabrese, è stata effettuata anche una valutazione del rischio erosivo con metodologia RUSLE ipotizzando uno scenario alternativo di gestione dei suoli. In particolare sono state considerate le seguenti tecniche:

- lavorazioni minime;
- rotazioni colturali;
- gestione residui colturali;
- interruzione della lunghezza del versante con fasce inerbite.

L'elaborazione ha evidenziato come le classi d'erosione "severa", "molto severa" e "catastrofica" risultano significativamente più contenute rispetto allo scenario "attuale", mentre l'erosione media ha/anno passa da 1.9 a 0.7 mm.

I dati disponibili consentono di trarre le seguenti considerazioni:

- il territorio calabrese è soggetto ad elevato rischio potenziale d'erosione a causa della forte aggressività climatica (erosività delle piogge), dell'elevata erodibilità del suolo e dell'elevata pendenza dei versanti. Si tratta tuttavia di un rischio teorico attualmente controllato in larga misura dalla copertura vegetale;

- le aree attualmente interessate da fenomeni erosivi non sostenibili riguardano i comprensori agricoli di collina ed in particolare i rilievi collinari mio-pliocenici del versante ionico. Tali aree sono destinate in prevalenza alla coltivazione del grano duro in monosuccessione e ad oliveto. La messa a coltura di versanti acclivi, fino agli anni '60 destinati a pascolo o ad arbusteti, è stata la causa principale del degrado dei suoli in questi comprensori ed ha favorito l'espansione delle zone prive di copertura pedologica e conseguentemente prive di copertura vegetale. La perdita irreversibile di capacità produttiva dei suoli consente di identificare queste aree come "desertificate" o in via di progressiva "desertificazione";

- l'introduzione di tecniche di gestione del suolo sostenibili per l'ambiente e verosimili nel territorio d'interesse consentirebbe di limitare significativamente il degrado delle terre;
- la nuova PAC (Reg. 1257/03 e Reg. 1782/03) fornisce il quadro normativo per intervenire sul territorio con scelte diversificate basate sulla specificità ambientale.

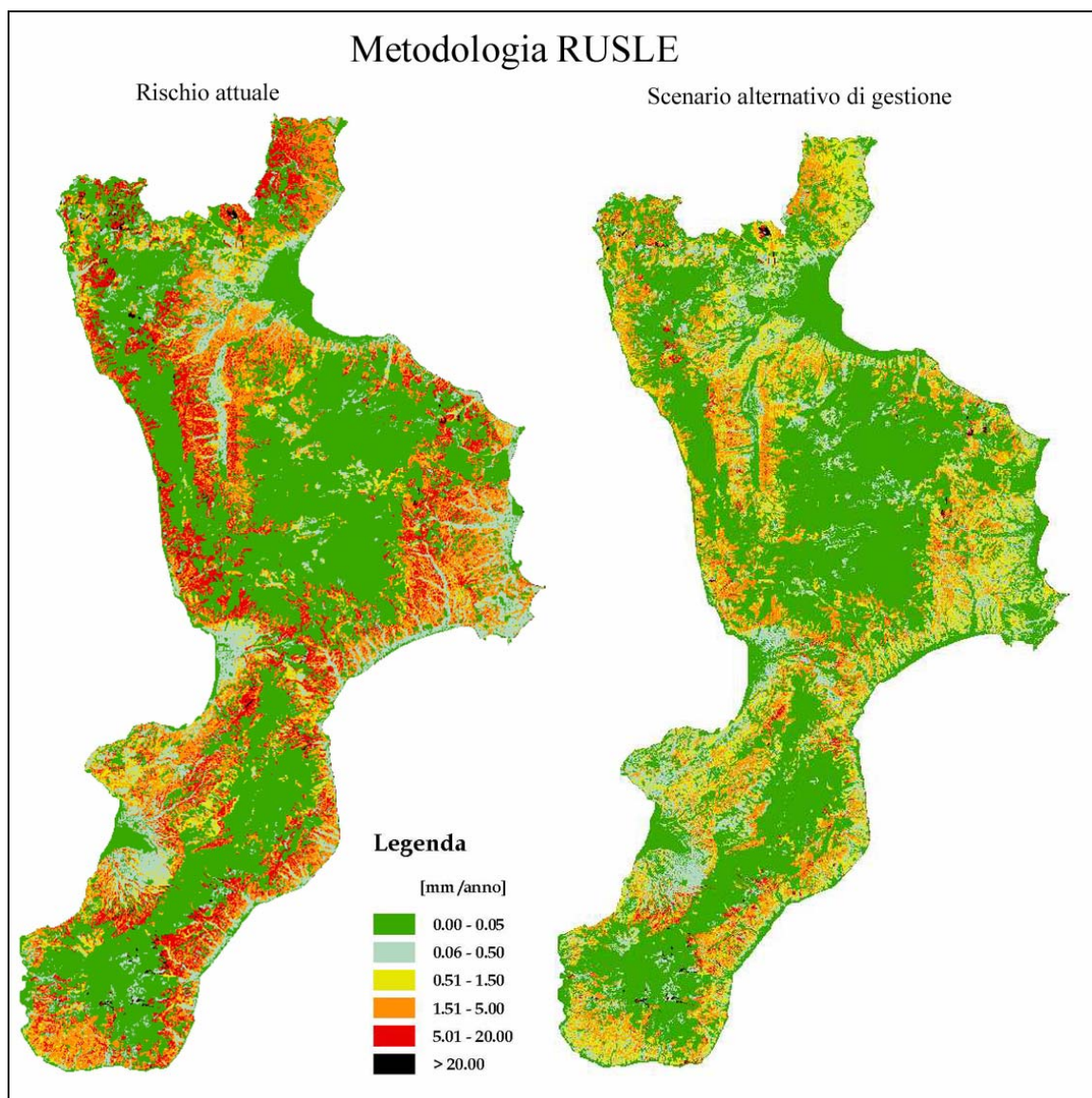


Figura 23 - Risultati della metodologia RUSLE.

4.4 Puglia

La Regione Puglia è sicuramente una delle regioni mediterranee maggiormente esposta al così detto fenomeno della “desertificazione”. Tale fenomeno può essere sintetizzato e facilmente compreso, nella perdita o la compromissione delle funzioni della risorsa suolo, in modo irreversibile, a causa di fenomeni naturali e/o antropici. Le cause naturali sono principalmente i lunghi periodi di siccità e le piogge intense e violente che innescano fenomeni erosivi, ma queste cause difficilmente da sole possono portare alla perdita o la compromissione della risorsa. Da sempre i grandi e piccoli disastri che hanno compromesso il suolo sono stati dovuti allo sfruttamento agricolo e silvo-pastorale del territorio. Indubbiamente tra questi il maggiore è stato il disboscamento incontrollato di immense aree soprattutto, ma non solo, su suoli in pendenza, su cui si è successivamente praticata una intensa pastorizia. Tra queste aree ricordiamo l’immenso territorio dell’alta Murgia, aree delle Murgia sud occidentale, zone del Salento ricadenti su substrati calcarei, zone del subappennino Dauno su superfici con una significativa pendenza e aree del Gargano soprattutto nella parte esterna del promontorio.

Il coltivatore pugliese da sempre ha combattuto con ingegno ed energicamente il fenomeno dell’erosione soprattutto nelle aree delle Murge basse, della Murgia sud occidentale e del Salento, questi territori sono caratterizzati da un substrato calcareo ricoperti di terre rosse (alfisuoli), con un clima favorevole alla coltivazione di piante arboree e di ortaggi, per questo gli agricoltori cercavano di proteggere a tutti i costi il suolo con immensi lavori di spietramento e costruzione di muretti a secco che avevano la funzione di terrazzamento e di protezione delle colture dalle greggi.

Nelle aree dell’alta Murgia, a causa di un clima più sfavorevole e una minore intensità abitativa, si è praticato principalmente il pascolo e non si attuava nessuna pratica per contenere l’erosione, lo stesso vale per il subappennino Dauno e per alcune aree del Gargano.

Con lo sviluppo economico e agricolo della Regione, ma soprattutto alle possibilità della meccanizzazione dell’agricoltura, oltre all’erosione altre cause si sono aggiunte alla perdita e/o alla compromissione della risorsa suolo. Tra questi i principali sono: la salinizzazione e sodicizzazione dei suoli a causa dell’utilizzo a scopi irrigui di acque salmastre prelevate dalle falde, l’inquinamento chimico (principalmente metalli pesanti) dei suoli in prossimità di aree industriali e dove viene attuata in modo improprio la pratica di utilizzazione agronomica dei fanghi provenienti dai depuratori urbani e industriali; un’altra conseguenza dello sviluppo economico-industriale della Regione è il così detto “sealing” perdita della risorsa suolo a causa di copertura dovuta soprattutto allo sviluppo viario e urbano. Anche se questa causa non può essere eliminata, altrimenti si bloccherebbe lo sviluppo economico di un’area, si può certamente attenuare con opportune scelte ingegneristiche.

Tra le cause, oltre ai lunghi periodi siccitosi, la più preoccupante è indubbiamente la sodicizzazione e salinizzazione dei suoli.

La Regione Puglia è una delle regioni maggiormente esposta al problema della sodicizzazione e salinificazione dei suoli, questo è dovuto:

- alla particolare lunghezza delle coste;
- alla geologia e morfologia del territorio;
- al forte utilizzo delle acque di falda a scopi agricoli, industriali e civili;
- ai lunghi periodi di siccità.

La regione Puglia ha una forma geografica stretta ed allungata, i confini sono per la maggior parte bagnati dai mari con le coste che si estendono per circa 500 chilometri. Questo determina una elevata superficie di contatto tra le acque di falde dolci e le acque salate dei mari e, per i suoli in prossimità della costa una deposizione di sali ad opera della salsedine trasportata dal vento.

La Regione Puglia è caratterizzata dalla presenza di due substrati geologici. Il substrato geologico, che risale, per il territorio del Gargano, delle Murge baresi e salentine, all’età del

Cretaceo, ha sviluppato un substrato di roccia calcarea dolomitica compatta. Queste rocce essendo facilmente solubilizzabili in profondità a causa dell'azione dell'acido carbonico, sono attraversate da una serie di cavità e fiumi sotterranei che mettono in contatto le acque dolci con quelle salate, creando un fronte che si sposta a seconda della quantità di acqua che penetra in profondità e raggiunge le falde. Lo spostamento di questo fronte verso l'interno e verso l'alto è influenzato fortemente dall'utilizzo dell'acqua di falda, che determina una diminuzione del corpo dell'acqua dolce nei confronti di quella salata che avendo campo libero avanza verso l'interno del territorio. Questo determina che alcuni pozzi scavati in zone di acque dolci si sono trovati man mano in zone di acque salmastre.

La morfologia influenza in modo consistente l'andamento di questo fenomeno, si possono distinguere tre situazioni. La prima quella delle aree Garganiche è caratterizzate dalla presenza di pianure costiere molto strette o inesistenti, qui la pressione della falda è maggiore a causa del rilievo ma soprattutto per la scarsa possibilità di coltivare lungo le coste, ciò limita fortemente lo spostamento del fronte dell'acqua salata. La seconda quella delle Murge baresi è caratterizzate dalla presenza di un rilievo moderato, da una pianura costiera ampia e da una serie di altipiani fortemente antropizzati. Qui viene praticata un'intensa attività agricola che comporta l'emungimento di grandi quantitativi di acqua dalle falde per mezzo di pozzi profondi anche 700-800 metri e che prelevano l'acqua ad una profondità inferiore al livello del mare. In questa situazione il fronte dell'acqua salata è avanzato anche di alcuni chilometri, questo spostamento, pertanto, è molto influenzato dall'andamento della piovosità durante l'anno. In questa situazione molti pozzi soprattutto in prossimità della costa sono diventati salmastri con valori di conducibilità dell'acqua che va da 4 a 1 m/S cm.

Nella terza, quella delle Murge salentine, si riscontra la stessa situazione delle Murge baresi, ma per la presenza di un rilievo ancora più moderato e poiché è bagnata da due mari, si trova a dover scontare la presenza di due fronti di acqua salata che assottigliano ancora di più quello di acqua dolce, inoltre in questa zona la piovosità è molto scarsa.

Il substrato geologico più recente che va dal pleistocene in poi si riscontra in particolare in tutto il Tavoliere di Foggia, nel subappennino Dauno, nella pianura brindisina e nell'arco Jonico. Questo substrato è caratterizzato dalla presenza di strati di sabbie, argille, ghiaia e calcare cementato, che è responsabile del movimento del fronte salino in modo discontinuo sia in profondità che in espansione, questo a causa degli strati di argilla impermeabile. Per questo è facile trovare situazioni in cui l'acqua salata si trova ad una profondità maggiore o si riscontrano diverse falde sospese ed isolate da strati di argilla che hanno un diverso contenuto di sali. Questa situazione si riscontra pure in zone caratterizzate da falde salate pur essendo distanti dal mare, intercalate da zone con falde meno salate.

L'utilizzo dell'acqua salata per scopi irrigui causa diversi danni sia di tipo economico che ambientale ed agronomico.

I danni economici sono dovuti principalmente ai minori redditi dei raccolti, ai maggiori costi di concimi e correttivi, alla necessità di scavare nuovi pozzi nelle zone più interne e al trasporto delle acque nelle zone costiere.

I danni ambientali sono dovuti principalmente alla maggiore necessità di scavare pozzi sempre più profondi e lontani dalla costa, alla messa a dimora di condotte per il trasporto dell'acqua oltre all'inquinamento da sodio e da cloro nel suolo.

I danni agronomici riguardano:

- l'aumentato della salinità della soluzione circolante del suolo fino a valori insopportabili per le colture che determina una scarsa e non qualitativa produzione;
- il peggioramento della struttura del suolo a causa del fenomeno della deflocculazione delle argille, questo fenomeno è diverso a secondo del tipo di suolo.

I suoli più sensibili sono quelli privi di carbonati e con una tessitura argillosa o tendente all'argillosa. In Puglia questi suoli sono presenti sull'intero territorio murgeso, essi vengono comunemente denominati "terre Rosse", in base alla classificazione Soil Taxonomi sono dei Rodoxseralf. I danni maggiori si avvertono nelle aree dove si pratica un'intensa attività orticola

ma anche su uliveti, vigneti e frutteti. Gli agricoltori stanno iniziando ad acquisire le tecniche per la correzione di questi suoli che consistono principalmente nell'eseguire scassi profondi per aumentare la permeabilità, nel ricarbonare il suolo, nell'apporto di sostanza organica e di zolfo che facilitano il dilavamento del sodio. Un'altra tecnica è quella ormai nota della macinazione del substrato carbonatico per l'impianto di colture arboree, questa tecnica consente la formazione di un suolo altamente permeabile ricchissimo di carbonati e con una struttura inattaccabile.

L'inquinamento chimico dei suoli difficilmente porta alla completa perdita della risorsa, ma ne compromette fortemente l'utilizzo soprattutto a scopo agricolo, si verifica principalmente nelle vicinanze delle aree industriali, nelle discariche abusive e sui suoli agrari dove, in seguito all'applicazione della legge n° 992/92 sullo smaltimento dei fanghi derivanti dai depuratori urbani, si sono verificati seri problemi di inquinamento dei suoli a causa di metalli pesanti, di cui sono particolarmente ricchi i fanghi dei depuratori urbani. La situazione si aggrava se nell'impianto di depurazione affluiscono anche, liquami extraurbani.

Lo spargimento dei fanghi sui suoli, non fa altro che aumentare eccessivamente le concentrazioni di tali metalli fino al punto da creare problemi alle piante oltre che determinare pericolo di inquinamento delle falde. In molti casi il mancato rispetto dei limiti quantitativi previsti dalla legge ha contribuito ad aggravare ulteriormente la situazione. Le superfici interessate dal problema non sono mai state mai quantificate, ma si presume che queste possono superare i 2.000 Ha sul territorio regionale. I danni maggiori si sono verificati agli uliveti, con stentata vegetazione scarsa produzione, parziale necrotizzazione delle foglie accompagnata da filloptosi fino alla completa defogliazione che nei casi più gravi porta al disseccamento e morte della pianta. Notevoli danni si sono verificati anche sulle altre colture arboree, vite, mandorlo ciliegio e pesco, mentre sulle colture erbacee non si osservano danni immediati. Tuttavia si può supporre i prodotti erbacei ottenuti da questi suoli possono arrecare danni agli animali e all'uomo che si alimentano con questi prodotti. Il problema desta particolare preoccupazione in quanto la maggior parte dei metalli pesanti legandosi all'argilla persistono per molto tempo rendendo il suolo inospitale alla vita delle piante arboree. Negli ultimi anni, grazie alla maggiore informazione circa i rischi e i danni derivanti dalla somministrazione al suolo di questi fanghi il fenomeno sembra in diminuzione.

Diversi sono gli effetti dovuti alla somministrazione delle acque di vegetazione derivanti dalla lavorazione delle olive, infatti si apporta fertilità al suolo, soprattutto sui suoli calcarei e clorosanti (non a caso questa tecnica si sta sviluppando notevolmente tanto che in alcuni casi gli agricoltori faticano a reperire questo prodotto).

Il forte sviluppo dell'economia agricola e l'ausilio di potenti mezzi tecnici da un lato ha generato il fenomeno della sodicizzazione e salinizzazione dei suoli di contro però ha fortemente attenuato e, in alcuni casi, eliminato completamente il fenomeno dell'erosione. Soprattutto nelle aree interessate da colture ad alto reddito, gli agricoltori hanno effettuato enormi investimenti per impedire l'erosione (sistemazioni idrauliche, trasporto di suolo dalle aree di accumulo sui versanti erosi, livellazioni e terrazzamenti, ecc.), tra questi investimenti spicca la tecnica di frantumazione della roccia calcarea che genera suoli molto fertili e non soggetti ad erosione.

Sul territorio pugliese gli agricoltori hanno messo a punto una tecnica agronomica di trasformazione di suoli rocciosi in suoli fertilissimi; questa tecnica ormai si è diffusa su tutto il territorio regionale, in cui il substrato geologico è di tipo calcareo o calcarenitico. La tecnica consiste nel scassare e rompere in piccoli pezzi il substrato calcareo il quale una volta macinato, da origine a un suolo calcareo ghiaioso. Tale tecnica prevede uno scasso fino alla profondità di 100 cm, lo sminuzzamento dei blocchi calcarei in pezzi di circa 30 cm di diametro e la successiva macinazione dei primi 50 cm. In questo modo si forma un suolo ben aerato, permeabile, ben saturato e soprattutto resistente a qualsiasi forma di erosione. Questa tecnica, molto costosa, (€/Ha 30.000,00) viene messa in pratica per la preparazione del suolo destinato alla coltivazione di colture ad alto reddito. Altro vantaggio che deriva è quello di aumentare la disponibilità della risorsa suolo per le coltivazioni.

Nelle aree della Alta Murgia Barese, dove gli investimenti produttivi non sono elevati e dove le colture prevalenti sono grano e colza, si pratica una variante della tecnica sopra descritta dei suoli consistente nella macinazione di uno strato di ca. 15-20 cm che non crei immediatamente un suolo fertile ma comunque avvia i processi di pedogenesi, inoltre quasi tutti gli anni viene ripetuta una macinazione più superficiale che ne fa aumentare la fertilità. In situazioni di estreme pendenze si possono verificare fenomeni erosivi.

Numerosi sono stati i tentativi di individuare e classificare le aree a rischio di “desertificazione” con vari metodi, ed utilizzando le basi conoscitive esistenti.

Da quanto detto e dalla complessità pedoclimatica e socio-economica del territorio pugliese, occorrerebbero base dati e cartografie (pedologiche, climatiche, idrogeologiche, di uso del suolo e socio-economiche) con un dettaglio di rilevamento elevato (scale 1:25.000 – 1:50.000). Le cartografie esistenti che vengono normalmente utilizzate sono: la carta pedologica “ACLA2-INTERREG” che ha una scala di rilevamento 1:200.000, la cartografia di uso del suolo “CORINNE LAN COVER” e le base dati climatiche. Tra queste, i dati climatici sono quelli che danno indici più rispondenti alla realtà. Mentre per i dati pedologici, a causa della scala, vengono generati indici che in alcuni casi non rispondono alla realtà.

5. Conclusioni

5.1 Indicatori e indici di rischio di degradazione del suolo

La metodologia utilizzata in questo progetto, basata sulla descrizione di indicatori e indici (sterilità funzionale, sensibilità e vulnerabilità, mitigazione aggravamento), cioè una serie di indicatori semplici, rilevanti e lineari, ricavati applicando il modello DPSIR a cinque sistemi di degradazione del suolo, lascia al lettore la responsabilità di dare un significato applicativo ad ognuno di essi.

Nelle tabelle 19 e 20 viene riportata una sintesi dei risultati ottenuti. L'area di studio riguarda il 52% dell'intero territorio nazionale. In essa sono presenti aree a clima semi arido e sub umido secco, come postulato dalla definizione di desertificazione dell'UNCCD, accanto ad aree a clima più umido. Le statistiche riportate quindi accomunano situazioni a diverso contesto climatico locale.

Tabella 19 – Superfici regionali appartenenti all'area di studio.

REGIONE	Superficie regionale (ha)	Superficie potenzialmente a rischio (%)
ABRUZZO	1083015	50
BASILICATA	1083015	93
CALABRIA	1522338	100
CAMPANIA	1360917	100
LAZIO	1721833	75
MARCHE	974955	58
MOLISE	446103	97
PUGLIA	1953386	100
SARDEGNA	2392008	100
SICILIA	2555398	100
TOSCANA	2268096	69
UMBRIA	846108	45
ITALIA	30130028	52

La superficie nazionale indagata è sicuramente rappresentativa delle aree dove sono presenti i maggiori rischi di degradazione del suolo in ambienti siccitosi, fatta eccezione per alcune aree costiere della Liguria, che non sarebbe stato possibile includere al dettaglio progettuale per la carenza di dati.

Nell'insieme dell'area di studio le aree naturali completamente denudate, quindi a sterilità funzionale, risultano essere il 3% della superficie, mentre le aree parzialmente denudate sono il 4%; le aree dove sono presenti forti e moderati fenomeni di erosione, circa il 6%, si sovrappongono parzialmente alle aree precedenti, ma sono sicuramente sottostimate, in quanto l'informazione relativa alla presenza di fenomeni di erosione spesso non c'è nei dati a disposizione. Più diffusi i suoli vulnerabili, cioè a rischio potenziale di forte erosione, perché sottili e collocati su forti pendenze, che assommano al 9% del territorio indagato. Un altro 9% è costituito da aree a vegetazione naturale e naturaliforme a scarsa copertura del suolo, solo in

minima parte coincidenti con le precedenti. Le aree sensibili al rischio di degradazione del suolo per erosione, perché eccessivamente sfruttate dal pascolamento, sono circa il 5%, che vanno a sommarsi ad un altro 2 % di aree a pascolamento intenso, dove questa attività può aggravare situazioni già sensibili o vulnerabili per altre condizioni.

A fronte di questa situazione di vulnerabilità e sensibilità ambientale all'erosione del suolo, che investe almeno il 30% dell'area in studio, le aree protette sono solo il 10%. La consultazione delle banche dati consente di evidenziare inoltre come la presenza di aree protette solo in parte coincida con le superfici a maggior rischio. Lo stesso avviene per la distribuzione delle aree dove vengono applicate le misure agroambientali per la difesa del suolo nei seminativi e nei pascoli. Le prime peraltro investono solo una superficie di circa il 4% dell'area studiata, mentre le seconde risultano note solo in Sardegna. Solo della Sardegna sono a disposizione inoltre informazioni sugli incendi forestali, che nel periodo 1997-2000 coprivano l'un per cento della regione, dato che solo all'apparenza è basso, ma che in realtà riferisce di una media di circa 6.000 ha bruciati ogni anno in quel periodo.

Da notare l'importanza che assumono le perdite di suolo per urbanizzazione; le aree urbane infatti coprono il 5% dell'area indagata, ma sono sicuramente sottostimate, dal momento che non è stato possibile considerare tutte le infrastrutture e le aree da loro influenzate.

Il rischio potenziale di salinizzazione dei suoli risulta essere nel complesso piuttosto limitato, circa il 4% dell'area di studio, ma più diffuso in Sardegna, Sicilia, Puglia e Toscana, dove arriva al 5% della superficie indagata.

Dopo il sistema di degradazione del suolo per erosione, il più importante è sicuramente quello legato alla siccità. Almeno il 19% dei suoli dell'area studiata ha dei forti rischi di degradazione legati alla siccità, solo per una parte minoritaria mitigati dalla presenza di possibilità irrigue. La carenza della risorsa idrica sembra essere quindi un fattore di rischio di degradazione e di possibile sterilità funzionale dei suoli molto importante in Italia.

Limitate alla Sicilia, ma non di trascurabile entità, le perdite di suolo per deposizione vulcanica recente.

A livello regionale, emerge che le regioni più esposte alle diverse forme di rischio di degradazione del suolo sono la Sicilia, la Puglia e la Sardegna, seguite dalla Basilicata e dalla Calabria, soprattutto per l'erosione del suolo. La Sicilia in particolare, con l'11% di superficie a sterilità funzionale, perché denudata o coperta da effusioni laviche recenti, un altro 7% di aree semi denudate e 8% a scarsa copertura forestale, e il 14% di pascoli sovrassfruttati, è la regione maggiormente degradata d'Italia. Non solo, è anche quella dove vi è il maggior rischio di siccità (55% dell'isola), seguita dalla Puglia (48%) e dalla Sardegna (18%). La Sardegna inoltre presenta ampie superfici naturali scarsamente coperte e una assoluta dominanza di pascoli sovrassfruttati, dove solo per meno di un terzo insistono misure agroambientali volte alla razionalizzazione del loro utilizzo. Le altre regioni studiate presentano tutte una certa sensibilità per la concorrenza di indicatori diversi. In particolare l'Abruzzo manifesta problematiche legate al rischio di erosione del suolo per l'alta incidenza di suoli sottili su forti pendenze, oltre alla diffusione di forme di erosione. La Basilicata, oltre ad essere soggetta a siccità, ha un'alta presenza di aree naturali scarsamente coperte, come del resto la Calabria. La Campania, pur avendo una buona estensione di aree protette, presenta un'alta urbanizzazione e numerosi suoli sottili su forte pendenze. Il Lazio ha problematiche simili, aggravate dalla scarsa presenza di aree naturali densamente coperte. Marche e Molise presentano problemi di erosione ed hanno un basso numero di aree protette. La Toscana, oltre a presentare fenomeni erosivi di un certo rilievo, ha una estesa superficie a rischio salinizzazione. L'Umbria è soggetta ad erosione del suolo e la scarsa presenza di aree protette non contribuisce a mitigare tale problematica.

Per quanto riguarda il confronto con alcune esperienze regionali, le banche dati realizzate, come è stato già detto in precedenza, non sostituiscono quanto fatto a livello regionale, piuttosto forniscono nuovi elementi che integrano gli studi regionali, li completano per le regioni che non li hanno prodotti e rendono possibile un confronto tra regioni su una base metodologica omogenea. Nel caso della Sardegna, ad esempio, emerge come vi sia una sostanziale

convergenza di evidenze tra le valutazioni regionali e quelle da noi operate. Il territorio della Nurra, ad esempio, nella Sardegna nord occidentale, viene classificato come “critico” dalle valutazioni regionali ed, in effetti, corrisponde ad un’area da noi indicato come a rischio siccità, dove non vi sono aree irrigue. Interessante notare però come in tale area sia molto diffusa l’applicazione delle misure agroambientali nei seminativi, che dovrebbe funzionare da mitigante il rischio di degradazione del suolo.

Nel caso della Calabria, l’approccio modellistico relativo all’indice di erosione superficiale del suolo realizzato dai colleghi calabresi ha l’indubbio merito di fornire un quadro completo del territorio regionale, che invece è risultato molto parziale con il nostro tipo di approccio. E’ però interessante notare come le evidenze dei rilevamenti di campagna raccolte nella banca dati hanno portato ad individuare dei fenomeni di degradazione del suolo per erosione incanalata presenti anche sotto copertura forestale, che l’approccio modellistico non aveva riconosciuto. In effetti, l’impatto delle pratiche selvicolturali sulla conservazione del suolo viene spesso insufficientemente considerato nei modelli di stima dell’erosione (Gregori e Costantini, 1996).

Tabella 20 – Tabella di sintesi degli indici (superficie per ogni classe di rischio).

SISTEMA DI DEGRADAZIONE DEL SUOLO	INDICE	CLASSE	ABRUZZO	BASILICATA	CALABRIA	CAMPANIA	
Deposizione	Effusioni laviche recenti	Assenza	100	100	100	100	
		Area scoperta: sterilità funzionale	0	0	0	0	
Erosione	Suoli sottili su forti pendenze	Dato non disponibile	11	21	19	18	
		Aree non a rischio	75	70	76	69	
		Presenza: vulnerabilità	14	9	5	12	
	Copertura aree naturali (NDVI)	Area non naturale	62	57	53	56	
		Copertura media: non a rischio	15	10	16	12	
		Aree semidenudate: sensibilità	2	4	3	2	
		Aree scoperte: sterilità funzionale	1	3	1	1	
		Copertura densa: mitigante	13	15	19	21	
		Copertura scarsa: aggravante	8	10	8	8	
	Erosione segnalata nel DB dei suoli	Dato non disponibile	87	90	94	98	
		Forte: aree sensibili	10	4	5	2	
		Moderata: aggravante	3	6	1	0	
	Aree protette	Assenza	86	87	83	76	
		Presenza: mitigante	14	13	17	24	
	Pascolamento	Aree non a rischio	93	92	96	96	
		Pascolamento intenso: sensibilità	4	5	2	3	
		Pascolamento: aggravante	3	3	1	1	
	Misure agro-ambientali su seminativi	Dato non disponibile	7	1	2	17	
		Assenza	29	23	12	16	
		Presenza: mitigante	0	17	0	0	
		Non seminativo	64	59	86	67	
	Misure agro-ambientali su pascoli	Dato non disponibile	100	100	100	100	
		Assenza	0	0	0	0	
		Presenza: mitigante	0	0	0	0	
		Aree non a pascolo	0	0	0	0	
	Aree colpite da incendi	Dato non disponibile	100	100	100	100	
		Assenza	0	0	0	0	
		Aree incendiate: aggravante	0	0	0	0	
	Urbanizzazione	Aree urbane e infrastrutture	Assenza	95	99	97	93
			Urbanizzato	5	1	3	7
	Salinizzazione	Acquiferi potenzialmente salini	Non a rischio	99	99	97	97
			Vulnerabilità	1	1	3	3
Siccità	Siccità potenziale (>105 giorni di secco)	Dato non disponibile	14	26	31	44	
		Non sensibile	86	62	65	56	
		Vulnerabilità a siccità	0	12	4	0	
	Aree irrigue	Dato non disponibile	0	0	0	0	
		Assente	88	89	93	84	
		Presente: mitigante	12	11	7	16	

SISTEMA DI DEGRADAZIONE DEL SUOLO	INDICE	CLASSE	LAZIO	MARCHE	MOLISE	PUGLIA	SARDEGNA
Deposizione	Effusioni laviche recenti	Assenza	100	100	100	100	100
		Area scoperta: sterilità funzionale	0	0	0	0	0
Erosione	Suoli sottili su forti pendenze	Dato non disponibile	24	14	8	1	27
		Aree non a rischio	66	81	82	95	61
		Presenza: vulnerabilità	10	5	10	4	12
	Copertura aree naturali (NDVI)	Area non naturale	74	86	60	83	47
		Copertura media: non a rischio	10	5	12	3	15
		Aree semidenudate: sensibilità	2	1	2	3	9
		Aree scoperte: sterilità funzionale	0	0	1	5	4
		Copertura densa: mitigante	8	5	19	2	3
		Copertura scarsa: aggravante	6	2	7	4	23
	Erosione segnalata nel DB dei suoli	Dato non disponibile	99	88	94	97	93
		Forte: aree sensibili	0	3	4	2	6
		Moderata: aggravante	0	9	2	1	1
	Aree protette	Assenza	89	96	99	93	96
		Presenza: mitigante	11	4	1	7	4
	Pascolamento	Aree non a rischio	98	99	95	92	93
		Pascolamento intenso: sensibilità	2	1	3	6	7
		Pascolamento: aggravante	0	0	2	1	0
	Misure agro-ambientali su seminativi	Dato non disponibile	0	4	3	5	1
		Assenza	32	36	39	32	19
		Presenza: mitigante	3	5	0	2	2
		Non seminativo	65	55	58	61	78
	Misure agro-ambientali su pascoli	Dato non disponibile	100	100	100	100	0
		Assenza	0	0	0	0	4
		Presenza: mitigante	0	0	0	0	2
		Aree non a pascolo	0	0	0	0	93
	Aree colpite da incendi	Dato non disponibile	100	100	100	100	0
		Assenza	0	0	0	0	99
Aree incendiate: aggravante		0	0	0	0	1	
Urbanizzazione	Aree urbane e infrastrutture	Assenza	91	94	98	95	95
		Urbanizzato	9	6	2	5	5
Salinizzazione	Acquiferi potenzialmente salini	Non a rischio	96	98	99	95	95
		Vulnerabilità	4	2	1	5	5
Siccità	Siccità potenziale (>105 giorni di secco)	Dato non disponibile	47	20	21	15	51
		Non sensibile	52	80	77	38	31
		Vulnerabilità a siccità	0	0	2	48	18
	Aree irrigue	Dato non disponibile	100	100	0	0	0
		Assente	0	0	94	81	86
		Presente: mitigante	0	0	6	19	14

SISTEMA DI DEGRADAZIONE DEL SUOLO	INDICE	CLASSE	SICILIA	TOSCANA	UMBRIA	% della superficie studiata	
Deposizione	Effusioni laviche recenti	Assenza	99	100	100	100	
		Area scoperta: sterilità funzionale	1	0	0	0	
Erosione	Suoli sottili su forti pendenze	Dato non disponibile	12	10	5	15	
		Aree non a rischio	81	82	85	76	
		Presenza: vulnerabilità	7	8	11	9	
	Copertura aree naturali (NDVI)	Area non naturale	68	57	70	63	
		Copertura media: non a rischio	5	12	8	10	
		Aree semidenudate: sensibilità	7	2	1	4	
		Aree scoperte: sterilità funzionale	10	2	0	3	
		Copertura densa: mitigante	2	22	17	10	
		Copertura scarsa: aggravante	8	6	4	9	
	Erosione segnalata nel DB dei suoli	Dato non disponibile	99	89	69	94	
		Forte: aree sensibili	1	1	23	4	
		Moderata: aggravante	0	9	8	2	
	Aree protette	Assenza	90	89	97	90	
		Presenza: mitigante	10	11	3	10	
	Pascolamento	Aree non a rischio	86	95	98	93	
		Pascolamento intenso: sensibilità	8	4	1	5	
		Pascolamento: aggravante	6	1	1	2	
	Misure agro-ambientali su seminativi	Dato non disponibile	0	0	2	3	
		Assenza	30	14	39	24	
		Presenza: mitigante	4	14	0	4	
		Non seminativo	66	72	59	68	
	Misure agro-ambientali su pascoli	Dato non disponibile	100	100	100	85	
		Assenza	0	0	0	1	
		Presenza: mitigante	0	0	0	0	
		Aree non a pascolo	0	0	0	14	
	Aree colpite da incendi	Dato non disponibile	100	100	100	85	
		Assenza	0	0	0	15	
		Aree incendiate: aggravante	0	0	0	0	
	Urbanizzazione	Aree urbane e infrastrutture	Assenza	96	95	96	95
			Urbanizzato	4	5	4	5
Salinizzazione	Acquiferi potenzialmente salini	Non a rischio	95	95	100	96	
		Vulnerabilità	5	5	0	4	
Siccità	Siccità potenziale (>105 giorni di secco)	Dato non disponibile	31	32	24	33	
		Non sensibile	14	68	76	48	
		Vulnerabilità a siccità	55	0	0	19	
	Aree irrigue	Dato non disponibile	0	100	100	24	
		Assente	88	0	0	66	
		Presente: mitigante	12	0	0	10	

5.2 Prospettive metodologiche e di sviluppo della ricerca

Il dover affrontare una tematica così articolata e complessa come quella del rischio di desertificazione in tempi relativamente brevi e con strumenti limitati ha portato a sfruttare al massimo le potenzialità delle banche dati geografiche esistenti.

Alcuni aspetti in particolare sono degni di nota. Oltre agli strumenti tematici di base, quali il modello digitale del terreno e le immagini satellitari, le principali fonti di informazioni ambientali sono risultate le banche dati dell'uso del suolo, delle misure agroambientali, climatica, pedoclimatica e la banca dati dei suoli. L'incompletezza di quest'ultima ha condizionato l'estensione delle aree valutate. Un completamento di esse sarà possibile nel prossimo futuro, quando sarà terminato il progetto "Banca dati dei suoli d'Italia" che il Ministero delle Politiche Agricole e Forestali ha finanziato al Centro Nazionale di Cartografia Pedologica dell'Istituto Sperimentale per lo Studio e la Difesa del Suolo.

Per quanto riguarda le elaborazioni effettuate, l'analisi NDVI è risultata un utile strumento per l'individuazione delle aree desertificate e sensibili, ma il suo impiego è stato limitato ai terreni non arati. La banca dati di uso del suolo è stato il mezzo che ha consentito di circoscrivere l'applicazione NDVI.

L'uso del modello EPIC ha consentito la valutazione della siccità potenziale sia a livello nazionale, con la stima dei regimi di umidità e di temperatura del terreno, che a livello regionale, per mezzo del calcolo del numero di giorni medio annuo di lungo periodo in cui la sezione di controllo dell'umidità del suolo è asciutta, fornendo in questo modo una valutazione molto più accurata dell'indice di aridità, che invece non tiene conto dell'effetto del suolo.

La spazializzazione delle informazioni ha spesso utilizzato la banca dati nazionale dei suoli. Questa ha consentito la valutazione delle terre sia agricole che forestali sensibili e vulnerabili a causa di erosione idrica, tramite le informazioni provenienti direttamente dai rilevamenti di campagna. L'utilizzo di informazioni provenienti dal rilevamento per le valutazioni e le spazializzazioni però hanno avuto il limite di lasciare non valutate le aree prive di informazioni pedologiche.

In conclusione deve essere sottolineato che la metodologia proposta non pretende di essere esaustiva. Vi è infatti una carenza di informazioni su aspetti importanti, quali ad esempio la qualità delle acque irrigue o la salinità dei suoli, che non è al momento facilmente superabile, anche attingendo alle banche dati regionali.

Vi è infine l'aspetto più importante e complesso della desertificazione, la necessità di studiare i processi nel loro evolversi nel tempo, attività che non è stato possibile realizzare. In questo senso, sarebbe auspicabile uno studio temporale dell'evoluzione delle superfici soggette ai tre sistemi di degradazione del suolo principali: erosione, siccità e urbanizzazione.

Dai risultati di questa ricerca emerge comunque con forza che la complessità dei processi coinvolti, l'elevata variabilità dell'ambiente mediterraneo e l'incompletezza dei dati disponibili rendono molte elevate le possibilità di errori o le parzialità nelle valutazioni. Ciò sconsiglia vivamente la ricerca di un unico indice di desertificazione, che inevitabilmente porta a moltiplicare tutti gli errori e carenze di ogni settore considerato.

Lo studio di ogni singolo sistema di degradazione del suolo sembra invece la via migliore per comprendere, valutare e combattere quello che viene genericamente indicato come "rischio di desertificazione".



Figura 24 – Fenomeni di erosione incanalata in ambiente forestale con buona copertura arborea. Lo scatenarsi dell'erosione è avvenuto in seguito a piogge notevoli occorse poco dopo il taglio del bosco ed è continuato nonostante l'azione di copertura operata dalle chiome. Gli operai forestali hanno inutilmente cercato di ridurre il processo erosivo gettando fascine all'interno dei solchi.

Bibliografia

- AA.VV., 2001. *Strategie di gestione pastorale conservativa*. Dipartimento di Scienze Agronomiche e gestione del territorio agroforestale di Firenze.
- AA.VV., 2004. *Reports of the technical working groups: Thematic soil strategy. Erosion*. Commissione Europea – EUR 21319 EN/2. Vol. II
- AA.VV., 2004. *Integrazione dei dati climatici telerilevati e socioeconomici per la definizione di indicatori di vulnerabilità alla desertificazione*. DESERTNET-Interreg 3b, CNR-IBIMET. Firenze.
- ADAMI P.L., 1989. *Metodi statistici di calcolo dell'accuratezza delle carte tematiche*. AIT informa.
- ANNONI A., PERDIGÃO W., 1997. *Technical and methodological guide for updating CORINE Land Cover Database*. European Commission, European Environment Agency.
- ANPA, 2000. *Indicatori di desertificazione per il Mediterraneo Europeo*. Roma.
- ARNOLDUS H.M.J., 1980. *An approfondition of the rainfall factor in the universal soil loss equation*. In: De Boodt M., and Gabriels D. (eds), *Assessment of erosion*, John Wiley & Sons. 127-132.
- ARU A., 2001. *La vulnerabilità dei suoli in relazione all'espansione urbana ed industriale: il caso Sardegna*. Boll. Soc. It. Sc. Suolo. Vol. 50: 461-476.
- ARU A., 2002. *Erosione e desertificazione*. Boll. Soc. It. Sc. Suolo. Vol. 51: 769-783.
- 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 .
- BALANINI D., 2001. *Zootecnia Speciale*. Edagricole. Bologna.
- 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 .
- BISHOP Y. M. M, FEINBERG S. E., HOLLAND P. W., 1975. *Discrete Multivariate Analysis - Theory and Practice*. MIT. Press , Cambrige Mass.
- BONCIARELLI F., BONCIARELLI U., 1992. *Coltivazioni Erbacee*. Edagricole. Bologna.
- BRIVIO P.A., LECHI G., ZILIOLI E., 1992. *Il Telerilevamento da Aereo e da Satellite*. Carlo Delfino Editore Sassari.
- 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 . Vol. 29:1415-1424.
- CABOI R., FANFANI L., LOJ G., PALA A., 1990. *Studio di una falda idrica salina nel settore di Cagliari*. 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 Inurtosu*. Poster di presentazione dei lavori per il progetto Ambiente, finanziamento R.A.S-Università di Cagliari.
- CARNEMOLLA S., DRAGO A., PERCIABOSCO M., SPINNATO F., 2001. *Metodologia per la redazione di una carta in scala 1:250.000 delle aree vulnerabili al rischio di desertificazione in Sicilia*. Regione Siciliana, Assessorato Territorio e Ambiente. Palermo.
- CLARK S.C., 1996. *Mediterranean ecology and an ecological synthesis of the field sites*. In: Brandt J. andThornes J. (eds) , John Wiley & Sons. Mediterranean desertification and land use.
- COHEN J., 1960. *A coefficient of agreement for nominal scale*. Educational and psychological measurement. Vol 20.
- COMITATO NAZIONALE PER LA LOTTA ALLA DESERTIFICAZIONE, 1998. *Carta del rischio di*

desertificazione in Italia. Uffici tecnici dello Stato. Servizio Idrografico e Mareografico, Roma.

CONGALTON R. G., MEAD R.A., 1983. *A quantitative method to test for accuracy and correctness in photointerpretation*. Phot. Eng. & Rem. Sens.

CONGALTON R. G., ODERWALD R.G., MEAD R.A., 1983. *Assessing Landsat classification accuracy using discrete multivariate analysis statistical techniques*. Phot. Eng. & Rem. Sens. Vol. 49

COSTANTINI E. A. C., CASTELLI F., L'ABATE G., 2002. *Using the EPIC model to estimate soil moisture and temperature regimes and to assess the desertification risk*. In: Faz et. Al. (eds), *Sustainable use and management of soils in arid and semiarid regions, SUMASS 2002*. Proc. Int. Symp., Cartagena, Murcia, Spagna. 22-26 settembre 2002. Vol. II: 361-263.

COSTANTINI E.A.C., BARBETTI R., IORI M., 2004. *Valutazione di impatto ambientale e paesaggistico della viticoltura ed olivicoltura nella provincia di Siena*. Boll. Soc. It. Sc. Suolo. Vol. 51: 13-19.

COSTANTINI E.A.C., CASTELLI F., IORI M., MAGINI S., LORENZONI P., RAIMONDI S., 2001. *Regime termico del suolo in alcuni campi sperimentali del nord, centro e sud Italia*.

ISNP, Roma. Atti convegno SISS, Gressoney Saint Jean, 1999, [CD-ROM computer file].

COSTANTINI E.A.C., CASTELLI F., LORENZONI P., RAIMONDI S., 2002. *Assessing soil moisture regimes with traditional and new methods*. Soil Sc. Soc. Am. J. 66, 6:1889-1896.

COSTANTINI E.A.C., MAGINI S., NAPOLI R., 2003. *A land systems database of Italy*. ISSDS. 4th European Congress on Regional Geoscientific Cartography and Information Systems. Proceedings. Vol. I: 124-126.

COSTANTINI E.A.C., RIGHINI G., 2002. *Processi degradativi dei suoli nelle regioni pedologiche italiane*. In: Paolillo P. L. (eds), *Problematiche del parametro suolo. Uno sguardo preoccupato alla situazione regionale*, Franco Angeli. Milano. 51-77.

CRISTINI A., LOJ G., 1983. *Studio sull'adsorbimento dello zinco in alcuni suoli della Sardegna meridionale*. Atti Ist. geoped. e geol.appl.IV 1983, Sassari. 115-130.

CUMER A., 1994. *Il progetto CORINE Land Cover in Italia: un modello da seguire*. Documenti del Territorio Anno VIII N. 28/29 giugno/dicembre 1994.

D'ANTONIO A. et al., 2000. *Aspects of soil sensitivity and vulnerabilità in Southern and Insular Italy*. Atti del Convegno "Soil Vulnerability and Sensitivity", Boll. Soc. It. Sc. Suolo. Vol. 49.

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*. Atti Firenze 18 – 20 ottobre 1999.

DAZZI C., 2002. *Salinità e qualità del suolo*. Boll. Soc. It. Sc. Suolo. Vol. 51: 81-104.

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 rive 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.

DISMED, 2003. *Map of Sensitivity to Desertification and Drought in the Mediterranean Basin – Italy*. http://www.ibimet.cnr.it/programmi/Pcase/dismed_products (verificato marzo 2004).

ENNE G., ZUCCA C., 2000. *Desertification indicators for the European Mediterranean region. State of the art and possible methodological approaches*. ANPA, Roma. pp. 261.

ESWARAN H., REICH P., 1998. *Desertification: A global assessment and risk to sustainability*. Proc. Of 16th Int. Congr. Soil Science, Montpellier, France. [CD-ROM computer file].

EUROPEAN COMMISSION, 1993. *CORINE Land Cover - Technical Guide*. Directorate General Environment.

FINKE P., HARTWICH R., DUDAL R., IBANEZ J., JAMAGNE M., KING D., MONTANARELLA L., YASSOGLU N., 1998. *Georeferenced soil database for Europe. Manual of procedures. Version 1.0*. ESB-JRC-SAI. EUROPEAN COMMISSION. EUR 18092 EN. pp. 184

FAO, 1996. *Agro-ecological zoning, Guidelines*. FAO Soils Bulletin 73, Rome, Italy. pp. 79

- FAO, 2004. *E-mail Conference on Land Degradation Assessment in Dryland Area. Conference Contributions*. LADA, <http://www.fao.org/landandwater/agll/lada/contrib.jsp?emailconf=lada>.
- FAO-UNESCO, 1989. *International Soil Reference and Information Centre. Soil Map of the World. Revised legend*. World Soil Resources Report n. 60. Roma.
- FERRERO, 1994. *Effetto del compattamento sui pascoli*. CNR, Torino.
- FIEROTTI G. et. Al., 1988. *Carta dei Suoli della Sicilia. Scala 1:250.000*. Regione Siciliana, Assessorato Territorio e Ambiente. Palermo.
- FOURNIER F., 1960. *Climat et érosion*. Ed. Presses Universitaires de France. Paris.
- FRANCIS C.F., THORNES J.B., 1990. *Runhoff Hydrographs from three Mediterranean vegetation cover types. Vegetation and erosion, processes and environments*. John Wiley & Sons, Chichester. 333-352.
- GARDIN L., COSTANINI E. A. C., NAPOLI R., 2002. *Guida alla descrizione dei suoli in campagna e alla definizione delle loro qualità*. RT-ISSDS.
- GIARDINI L., 1994. *Agronomia generale*. Patron Editore. Bologna.
- GIARDINI L., BALDONI R., 2001. *Coltivazioni erbacee: piante oleifere, da zucchero, da fibra, orticole e aromatiche*. Patron Editore.
- GOMARASCA M. A., 1997. *Introduzione a telerilevamento e GIS per la gestione delle risorse agricole e ambientali*. Ed AIT, Firenze.
- GREGORI E., ANDRENELLI M. C., CANAVESIO A., FINOIA M., GIANNETTI F., ZORN G., 2004. *Valutazione del ruolo protettivo della vegetazione nei confronti dei movimenti franosi superficiali, Propensione al dissesto*. <http://www.issds.it/riselvitalia/dissesto.htm>.
- GREGORI E., COSTANTINI E.A.C., 1996. Applicazione del sistema esperto "FOCOSU" per la pianificazione e gestione degli ecosistemi forestali di Poggio del Comune (Siena). Atti del convegno nazionale S.I.S.S.: "il ruolo della pedologia nella pianificazione e gestione del territorio". Cagliari, 6-9 giugno 1995. 121-134.
- 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.
- HARGREAVES, G.H., SAMANI, Z.A., 1982. *Estimating potential evapotranspiration*. Tech. Note, J. Irrig. and Drain. Eng., ASCE, 108(3). 225-230.
- HUDSON B.D., 1992. *The Soil Survey As Paradigm-Based Science*. Soil Sc. Soc. Am. J. 56:836-841.
- 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, Roma Aprile 1998. 255-265.
- 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.
- INDORANTE S.J., KABRIK J.M., HUDSON B.D., 1999. *The soils that we map*. Poster at the SSSA annual meeting, Salt Lake City, USA.
- ISTAT, 2000. *Dati del 5° censimento generale dell'agricoltura*. Roma.
- ISTAT, 2001. *V Censimento Nazionale dell'Agricoltura*. Database on line: sezione 5-Consistenza degli allevamenti.
- KLINGEBIEL A.A., MONTGOMERY P.H., 1961. *Land capability classification*. USDA-SCS. Handbook n.210, Washington D.C. USA. pp. 21
- KOSMAS C., KIRKBY M., GEESON N., 1999. *Manual on key indicators of desertification and mapping environmentally sensitive areas to desertification*. The MEDALUS project – Mediterranean desertification and land use. European Commission, Brussels.
- KOSMAS C., KIRKBY M., GEESON N., 1999. *The MEDALUS project. Mediterranean Desertification and land use. Manual on key indicators of Desertification and mapping environmentally sensitive areas to desertification*. EUR 18882, Bruxelles, Belgium.
- 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: Brandt J. and J. Thornes J. (eds), John Wiley & Sons.

Mediterranean desertification and land use. 271-299.

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

L'ABATE G., COSTANTINI E. A. C., 2004. *Il GIS pedoclimatico d'Italia*. Boll. Soc. It. Sc. Suolo. Vol. 53:439-444.

LECHI G., 1996. *Dispense del Corso di Telerilevamento*. DIIAR, Facoltà di Ingegneria, Politecnico di Milano.

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).

MC BRATNEY A.B., MENDONÇA SANTOS M.L., MINASNYA B., 2003. *On digital soil mapping*. Geoderma.

MIDDLETON, THOMAS, 1997. *World atlas of desertification. 2nd edition*. UNEP. London.

MINISTERO DELL'AMBIENTE, 2001. *Relazione Generale sullo stato dell'ambiente in Italia*. Roma, Italy.

MOTRONI A., CANU S., BIANCO G., G. LOJ, 2003. *Carta delle aree sensibili alla desertificazione in Sardegna. N. 16 Fogli in scala 1:100.000, 3 ottobre 2003, Cagliari – stampa in proprio* ERSAT Geoesplora- Roma 27 maggio 2004.

MULÈ P., DESSÌ G., DEROMA M., MADRAU S., 2002. *Il degrado dei suoli per calpestio da sovrappascolamento. Un esempio in Sardegna*. Estimo e territorio, n°2, febbraio 2002.

OLIVER J.E., 1980. *Monthly precipitation distribution: A comparative index*. Professional Geographer, 32(3). 300–309.

PAOLILLO P.L., 2002. *Problematiche del parametro suolo*. Franco Angeli Ed.- capitolo Sardegna.

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. Vol. 23:141-166.

PORCIANI G., 1994. *Manuale Edagricole: stima e gestione dei beni rustici ed urbani*. Ed agricole. Bologna.

RIGHINI G., COSTANTINI E.A.C., SULLI L., 2001. *La banca dati delle regioni pedologiche italiane*. Boll. Soc. It. Sc. Suolo, Suppl . Vol. 50: 261-271

RONDEAUX G., 1995. *Vegetation Monitoring by Remote sensing: a Review of Biophysical Indices*. Photo Interpretation. Vol. 33

SHARPLEY A.N., WILLIAMS J.R., 1990. *EPIC-Erosion/Productivity Impact Calculator*. USDA. Tech. Bull. 1768.

SOIL CONSERVATION SERVICE, 1983. *National Soil Handbook*. USDA. Washington D.C., USA.

SOIL SURVEY DIVISION STAFF, 1993. *Soil Survey Manual*. USDA. Agricultural Handbook N° 18, Washington D.C., USA.

SOIL SURVEY STAFF, 1975. *Soil Taxonomy: A basic system for making and interpreting soil surveys*. USDA. Agricultural Handbook 436, pp. 754. Washington DC.

SOIL SURVEY STAFF, 1998. *Keys to Soil Taxonomy*. USDA-SMSS. Technical Monograph, USA.

SOIL SURVEY STAFF, 1999. *Soil Taxonomy: A basic system of soil classification for making and interpreting soil surveys. 2nd ed .* USDA-NRCS. Agricultural Handbook 436, U.S. Gov. Print. Office, Washington D.C., USA. pp. 869

UNCCD-CRIC, 2002. *Italy national report*. Report of the The Ministry of Environment and Territorial Protection, .

Roma. pp. 43

UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME, 1992. *World Atlas of Desertification*. In: Arnold E. (eds). pp. 69

UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME, 1997. *World Atlas of Desertification. Second Edition*. In: Middleton N. and Thomas D. (eds). pp. 182

VACCA A., MARRONE V.A., 2004. *Soil degradation systems in the Italian regions of the EU objective 1: application of the DPSIR model as a reference system for the typological systematisation of the phenomena*. 1st Int. Congr. Eurosoil, Freiburg, Germany. [CD-ROM computer file].

VAN WAMBEKE E FORBES, 1986. *Guidelines For Using Soil Taxonomy In The Names Of Soil Mapping Units*. SMSS Technical Monograph N° 10, USDA. Washington D.C., USA.

WISCHMEIER W.H., SMITH D.D., 1978. *Predicting rainfall erosion losses*. Agriculture handbook N° 537, USDA. Washington D.C., USA.