





# LA DESERTIFICAZIONE IN ITALIA

**Processi, indicatori, vulnerabilità del territorio**

*Luigi Perini, Luca Salvati, Tomaso Ceccarelli  
Simona Sorrenti, Marco Zitti*



BONANNO EDITORE



Unità di Ricerca per la Climatologia  
e la Meteorologia applicate  
all'Agricoltura

CNLS D

Comitato Nazionale per la Lotta alla  
Siccità e alla Desertificazione



Ministero dell'Ambiente e della  
Tutela del Territorio e del Mare

ACCORDO di PROGRAMMA 2005 MATTM/CNLS D  
Piano Operativo 2005/2006

*Convenzione tra:*

*Università della Calabria – Dipartimento di Ecologia*

*e*

*Consiglio per la Ricerca e la Sperimentazione in Agricoltura  
Unità di Ricerca per la Climatologia e la Meteorologia applicate all'Agricoltura  
per la*

*“Redazione di un sistema cartografico nazionale tematico  
sulla vulnerabilità alla desertificazione”*

*Proprietà artistiche e letterarie riservate*  
Copyright © 2008 – Bonanno Editore  
ACIREALE – ROMA

Internet: <http://www.bonannoeditore.com>  
E-mail: [info@bonannoeditore.com](mailto:info@bonannoeditore.com)

## INDICE

Prefazione di <i>Bruno Dettori</i>	pag. 7
Presentazione dell'opera di <i>Piero Gagliardo</i>	» 9
Presentazione del CRA-CMA di <i>Domenico Vento</i>	» 13
Acronimi ed abbreviazioni	» 15
Introduzione	» 17
CAPITOLO 1	
<b>DEGRADO DELLE TERRE E DESERTIFICAZIONE</b>	» 25
1.1 Le cause	» 27
1.2 Definizioni e termini del problema: sensibilità, vulnerabilità e rischio	» 33
CAPITOLO 2	
<b>L'APPROCCIO AL PROBLEMA E LO STATO DELL'ARTE</b>	» 37
2.1 Gli indici sintetici	» 41
2.2 La metodologia CNLD	» 42
2.3 La metodologia MEDALUS/ESA	» 43
2.4 La procedura CRA-CMA e l'indice LVI (Land Vulnerability Index)	» 46
CAPITOLO 3	
<b>LA STIMA DELLA VULNERABILITÀ AMBIENTALE ALLA DESERTIFICAZIONE</b>	» 49
3.1 Il modello DPSIR	» 49
3.2 I sistemi di degrado delle terre	» 52
3.3 Il ruolo degli indicatori	» 54
3.4 La traduzione dello schema DPSIR in indicatori ambientali	» 56
3.5 Gli strati informativi e l'approccio cartografico	» 60
3.6 Selezione delle variabili e predisposizione degli strati tematici	» 62
3.7 Analisi statistica multivariata	» 64
CAPITOLO 4	
<b>LE BASI INFORMATIVE E LE FONTI DATI</b>	» 67
4.1 Clima	» 67
4.2 Suolo	» 72
4.3 Copertura del suolo e vegetazione	» 82
4.4 Pressione antropica: demografia, agricoltura, industria, turismo	» 83

<b>CAPITOLO 5</b>	
<b>GLI INDICATORI</b>	pag. 85
5.1 Indicatori del clima	» 86
5.2 Pressione demografica	» 101
5.3 Salinizzazione	» 106
5.4 Erosione idrica	» 109
5.5 Inquinamento e deterioramento fisico	» 131
5.6 Pressione dell'agricoltura e sistema demo-economico	» 133
<b>CAPITOLO 6</b>	
<b>VULNERABILITÀ AL DEGRADO DELLE TERRE E ALLA DESERTIFICAZIONE IN ITALIA</b>	» 145
6.1 Clima	» 145
6.2 Urbanizzazione	» 151
6.3 Salinizzazione	» 153
6.4 Erosione dei suoli	» 154
6.5 Inquinamento da fonti puntuali e diffuse (carico organico)	» 158
6.6 Agricoltura	» 159
<b>CAPITOLO 7</b>	
<b>CLASSIFICAZIONE DEL TERRITORIO NAZIONALE IN BASE ALLA VULNERABILITÀ ALLA DESERTIFICAZIONE</b>	» 171
7.1 L'indice ESAI	» 171
7.2 L'indice LVI	» 173
<b>CAPITOLO 8</b>	
<b>CONCLUSIONI</b>	» 179
<b>BIBLIOGRAFIA</b>	» 183
<b>GLI AUTORI</b>	» 189

## PREFAZIONE

La desertificazione rappresenta uno dei processi di degrado ambientale fra i più complessi e preoccupanti della nostra società contemporanea, sia per la sua definizione e quantificazione, sia per gli effetti che può determinare sull'uomo, sulle risorse biologiche e quindi sugli ecosistemi in senso globale.

Processo estremamente mutevole nel tempo e nello spazio, la sua valutazione richiede indagini approfondite e specifiche su molteplici parametri di varia natura e l'interpretazione di una quantità notevole di dati, a volte mancanti o incompleti. La presenza di questo fenomeno, ormai conclamata anche nel nostro Paese, e le conseguenze che ne derivano non possono non suscitare una certa preoccupazione oltre che stimolare la ricerca di risposte urgenti.

Per fare fronte a questa emergenza globale si configura come imprescindibile un approccio preventivo basato sulla conoscenza che, da un lato, permette ai decisori politici di elaborare le più efficaci politiche ambientali e dall'altro alimenta e stimola il dibattito pubblico e scientifico. La conoscenza diventa quindi un presupposto fondamentale sia per gestire le risorse del territorio che per prevenire e mitigare gli effetti delle attività che portano al degrado dei suoli.

All'interno di questa prospettiva le attività del CNLSD (Comitato Nazionale per la Lotta alla Siccità e alla Desertificazione) forniscono un contributo basilare per la valutazione dei processi che conducono ai fenomeni di desertificazione e per l'identificazione di opportune tecniche di gestione delle risorse.

Per raggiungere tali obiettivi il Comitato si avvale di specifici strumenti attuativi, come i programmi di azione nazionale e regionale, che si ispirano a principi partecipativi e la cui implementazione richiede un approccio integrativo tra il livello nazionale e quello locale.

Elementi cardine per affrontare questa emergenza diventano così l'integrazione dei diversi livelli istituzionali, la cooperazione tra tutti gli attori coinvolti e coinvolgibili in una gestione efficiente dell'ambiente e l'innovazione gestionale come risposta alla continua richiesta di soluzioni efficaci.

Quale conseguenza dell'adozione degli strumenti attuativi adottati dal Comitato vi è inoltre la presa di coscienza del territorio da parte dei diversi enti e amministrazioni deputati a gestirlo. Si apre così una diversa fase di più inci-

sivo confronto con il territorio che diventa il nuovo punto di partenza per affrontare i temi dello sviluppo sostenibile.

Questo lavoro è parte integrante del patrimonio di conoscenze che emerge dalle attività del Comitato e, in questo caso, dalle competenze e dall'impegno del CRA-CMA, configurandosi quale strumento cartografico a valenza nazionale sulla vulnerabilità del territorio alla desertificazione.

Si configura, inoltre, come importante strumento di divulgazione fruibile da un'utenza ampia e diversificata costituendo pertanto un importante momento di condivisione della conoscenza acquisita senza la quale non sarebbe possibile contribuire fattivamente alla tutela dell'ambiente e alle strategie decisionali.

ON. SENATORE PROF. BRUNO DETTORI

*Sottosegretario del Ministero  
dell'Ambiente e della Tutela  
del Territorio e del Mare  
– Presidente CNLSD –*



## PRESENTAZIONE DELL'OPERA

Le zone desertiche fanno parte dell'insieme degli ecosistemi presenti sulla Terra e si sono formate nel corso di un lunghissimo arco di tempo in seguito a processi essenzialmente naturali. La dinamica evolutiva di questi ambienti è caratterizzata da fasi alternanti di avanzamento e di arretramento che delineano di volta in volta fasce territoriali di transizione dal delicato e fragile equilibrio ambientale. In molti casi, l'ampiezza e le difformità strutturali di queste aree intermedie rendono arduo tracciare un confine che circoscriva nettamente il deserto. In queste zone, marginali per definizione, la presenza dell'uomo ed il peso delle sue attività possono facilmente vincere la naturale resilienza dell'ecosistema e comportare il degrado dei suoli. Questi fenomeni sono processi molto complessi alla cui genesi concorrono molteplici cause ed evolvono in funzione dei diversi climi: la desertificazione, infatti, può risultare rafforzata da condizioni di maggiore aridità o, in altri casi, può avviare essa stessa un cambiamento del clima a scala locale.

La vicinanza di un deserto, tuttavia, non ha alcun rapporto diretto con la desertificazione. Anche in Italia, così come in tanti altri Paesi geograficamente più o meno distanti dai deserti, è possibile riconoscere situazioni di desertificazione. Purtroppo, tali fenomeni iniziano in sordina e divengono palesemente manifesti solo dopo molto tempo quando, il più delle volte, per mancanza di riscontri oggettivi, non è possibile nemmeno indicare lo stato *ex-ante* dell'ecosistema o stimare il tasso di evoluzione della degradazione delle terre.

Anche se il termine "desertificazione" risale agli anni '50, il problema è balzato prepotentemente alla ribalta qualche decennio addietro, intorno agli anni '30, quando buona parte delle Grandi Pianure negli Stati Uniti d'America si trasformarono in una "*dust bowl*", ovvero in una conca di polvere. Le cause furono individuate in una grave e persistente siccità e nel tipo di agricoltura che ivi si praticava, particolarmente depauperante per il territorio. Durante quel periodo, centinaia di migliaia di persone furono costrette ad abbandonare la loro terra e i loro mezzi di sostentamento. La remissione della siccità, l'adozione di metodi colturali adeguati ed una gestione più attenta delle risorse idriche ha in seguito evitato in quella regione il ripetersi di simili catastrofi.

Ai nostri giorni, considerata la forte crescita e concentrazione demografica,

nonché gli effetti del *global warming*, molte aree del pianeta, Italia compresa, risultano a rischio di desertificazione. Le politiche dei Governi e la consapevolezza dei singoli, unite ad una più completa conoscenza dei fenomeni, possono contrastare validamente le tendenze in atto attraverso mirati piani locali di azione inseriti in un contesto di misure organiche e coordinate. In questa direzione va intesa l'adesione dell'Italia alla Convenzione delle Nazioni Unite per la Lotta contro la Siccità e la Desertificazione (UNCCD) e la conseguente creazione del Comitato Nazionale per la Lotta alla Siccità e alla Desertificazione (CNLSD) quale strumento attuatore.

Nel corso degli anni, il CNLSD, fra i suoi innumerevoli compiti, ha predisposto e curato diversi Piani Operativi mirati essenzialmente ad approfondire le conoscenze scientifiche, diffondere una cultura ambientale soprattutto nelle nuove generazioni e sperimentare nel concreto vari metodi di lotta alla desertificazione. Nel Piano Operativo 2005 fu inserito un progetto dal titolo: "*Redazione di un sistema cartografico nazionale tematico sulla vulnerabilità ambientale alla desertificazione*" con il fine di ottenere una cartografia aggiornata del rischio di desertificazione che, prevedendo l'utilizzo di un modello di valutazione il più possibile condiviso e verificato sulla base delle esperienze pregresse, fornisse una valutazione a livello nazionale del rischio di desertificazione e della sua evoluzione temporale.

Il lavoro, nato da una idea progettuale del CRA-CMA (ex Ufficio Centrale di Ecologia Agraria) e ad esso affidato con apposita convenzione, vede in questa pubblicazione il suo logico compimento. Lo studio proposto e le relative elaborazioni effettuate – prevalentemente di tipo quantitativo – poggiano su una solida base di dati, attentamente selezionati in funzione dell'affidabilità e della qualità dell'informazione, nonché della omogeneità e completezza della copertura territoriale. Le valutazioni sono state basate su due approcci diversi. È stata, infatti, utilizzata la metodologia ESA/MEDALUS, per tener conto di un riferimento procedurale riconosciuto a livello internazionale e una procedura originale, messa a punto dal CRA-CMA, basata su strumenti di analisi statistica multivariata utilizzati per valutare quantitativamente il ruolo dei vari fattori implicati nei processi di degrado delle terre.

I risultati ottenuti, confermando fra l'altro alcune conoscenze pregresse, evidenziano per il nostro Paese situazioni di particolare criticità rispetto al fenomeno; ciò che emerge con maggiore preoccupazione, è la diffusa vulnerabilità espressa dal territorio ai processi di degrado delle terre associate, peraltro, ad un trend temporale in peggioramento.

Un ulteriore aspetto originale del lavoro è costituito dalla presentazione dei risultati che, oltre ad essere sintetizzati in numerose tabelle, ricche di informazioni puntuali, sono stati cartografati con sistemi GIS e resi usufruibili tramite un'apposita applicazione software contenuta nel DVD allegato alla pubblicazione stessa. Questa particolare soluzione tecnica consente di leggere le mappe in

maniera dinamica ed interattiva a seconda delle esigenze e dei punti di vista del lettore. Completano l'opera 4 mappe cartacee, in formato poster, che illustrano entità e distribuzione della vulnerabilità al degrado delle terre a livello nazionale, per le due serie storiche considerate e per le due metodologie adottate.

Il lavoro, nel suo complesso, aggiunge un ulteriore tassello conoscitivo alla comprensione dei fenomeni di degrado delle terre e risulterà particolarmente utile, come supporto scientifico e divulgativo, soprattutto nei vari contesti istituzionali e politici coinvolti nei processi di *governance* integrata a scala locale, regionale e nazionale.

PROF. PIERO GAGLIARDO

*Università di Calabria*

*Presidente del CNLSD*

*da Agosto 2002 a Luglio 2007*



## PRESENTAZIONE DEL CRA-CMA

L'Ufficio Centrale di Ecologia Agraria (UCEA), già organo scientifico del Ministero delle Politiche Agricole e Forestale (MIPAF), è attualmente confluito nel Consiglio per la Ricerca e la Sperimentazione in Agricoltura (CRA) assumendo la nuova denominazione di *Unità di Ricerca per la Climatologia e la Meteorologia applicate all'Agricoltura* (CRA-CMA). Immutato, nel corso della sua ultrasecolare storia, è l'impegno che l'Istituto ha dedicato e continua a approfondire nelle ricerche di climatologia e meteorologia per l'agricoltura, così come grande è l'interesse per le tematiche agro-ambientali e territoriali.

A tale proposito, meritano particolare menzione il ruolo di coordinamento generale e le varie ricerche condotte dall'Istituto nell'ambito del Progetto Finalizzato "*Climagri – cambiamenti climatici e agricoltura*", che si è giovato di diverse competenze scientifiche per studiare il cambiamento climatico e la sua influenza su alcuni settori strategici del mondo agricolo. Fra le altre, un nucleo di ricerca sulla desertificazione è nato grazie alla linea di ricerca 3.1 che ha proposto attività di interesse di particolare attualità, quali il monitoraggio permanente della siccità in agricoltura e la stima della vulnerabilità degli agro-ecosistemi alla desertificazione in Italia nell'ottica del cambiamento climatico.

Nella stessa ottica di partecipazione convinta e scientificamente consapevole va inquadrato il ruolo istituzionale del CRA-CMA nel Comitato Nazionale per la Lotta alla Siccità e Desertificazione (CNLSD) in seno al quale ha svolto attività di ricerca (Accordo di Programma 2004) e supporto scientifico. Con l'Accordo di Programma 2005, il CRA-CMA ha avuto un'ulteriore opportunità di dare continuità alle attività conoscitive sulla desertificazione, avvalendosi di tutte le informazioni quali-quantitative in possesso delle varie istituzioni coinvolte nei settori della protezione dell'ambiente e della pianificazione territoriale.

Ad un anno circa dalla pubblicazione del manuale APAT n. 40 "*La vulnerabilità alla desertificazione in Italia: raccolta, analisi, confronto e verifica delle procedure cartografiche di mappatura e degli indicatori a scala nazionale e locale*", cui il CRA-CMA ha fattivamente contribuito, esce in veste scientifica (ma anche con forti intenti divulgativi) questo nuovo lavoro di ricerca dal titolo "*La*

*desertificazione in Italia – processi, indicatori, vulnerabilità del territorio*” che rappresenta un’ulteriore ed importante tappa del percorso di approfondimento conoscitivo. Questo lavoro, inoltre, rappresenta un’occasione di trasferimento delle metodologie prodotte ad un pubblico di addetti ai lavori – operatori dei servizi tecnici, divulgatori, funzionari degli enti locali – ed affianca le altre monografie del CRA-CMA quali l’atlante agroclimatico nazionale pubblicato nel 2004 ed il volume sugli scenari climatici per l’agricoltura uscito nel 2007.

DOTT. DOMENICO VENTO

*Direttore CRA-CMA*

## ACRONIMI ED ABBREVIAZIONI

AGEA	Agenzia per le Erogazioni in Agricoltura
ANPA	Agenzia per la Protezione dell'Ambiente
APAT	Agenzia per la Protezione dell'Ambiente e per i Servizi Tecnici
APWL	Deficit pluviometrico cumulato
ATECO	Classificazione delle attività economiche
AVHRR	Advanced Very High Resolution Radiometer
AWC	Available Water Capacity
BDAN	Banca Dati Agrometeorologica Nazionale
CLC	Corine Land Cover
CLIMAGRI	Progetto di ricerca su Agricoltura e Cambiamenti Climatici
CNCP	Centro Nazionale di Cartografia Pedologica
CNLD	Comunicazione Nazionale per la lotta alla Siccità e alla Desertificazione
CNLSD	Comitato Nazionale per la Lotta alla Siccità e alla Desertificazione
CNR	Consiglio Nazionale delle Ricerche
CORINE	Coordination de l'Information sur l'Environnement
CQI	Climate Quality Index
CRA	Consiglio per la Ricerca e la Sperimentazione in Agricoltura
CRA-ABP	Centro di Ricerca per l'Agrobiologia e la Pedologia
CRA-CMA	Unità di Ricerca per la Climatologia e la Meteorologia applicate all'Agricoltura
CTS	Commissione Tecnico Scientifica del CNLSD
CV	Coefficiente di variazione
D	Deficit idrico
DEM	Digital Elevation Model
DISforME	Desertification Indicators System for Mediterranean Europe
DISMED	Sistema informativo sulla desertificazione a supporto del piano di azione nazionale nel Mediterraneo
DPSIR	Modello "Driving Forces, Pressures, State, Impacts, Responses"
EEA	Agenzia europea per l'ambiente
ESA	Environmentally Sensitive Areas
ESAI	Environmentally Sensitive Areas Index
$E_t_0$	Evapotraspirazione di riferimento/potenziale

Et <sub>r</sub>	Evapotraspirazione reale
EUAP	Elenco ufficiale delle aree protette
FAO	Food and Agriculture Organization
GDD	Growing Degree Days
GIS	Sistema Informativo Geografico
IA	Indice di aridità
INEA	Istituto Nazionale di Economia Agraria
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change
IRSA	Istituto di Ricerca sulle Acque
ISTAT	Istituto Nazionale di Statistica
JRC-Ispira	Joint Research Centre sede Ispra
LAI	Leaf Area Index
LVI	Land Vulnerability Index
MATTM	Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare
MEDALUS	Mediterranean Desertification and Land Use
MIPAAF	Ministero delle politiche agricole alimentari e forestali
MQI	Management Quality Index
OCSE	Organizzazione per la Cooperazione e lo Sviluppo Economico
OECD	Organisation for Economic Co-operation and Development
OMM/WMO	Organizzazione Meteorologica Mondiale/World Meteorological Organization
PAC	Politica Agricola Comunitaria
PCA	Analisi delle componenti principali
PSR	Pressures, State, Responses
S	Eccedenza idrica
SAT	Superficie agricola totale
SAU	Superficie agricola utilizzata
SIAN	Sistema Informativo Agricolo Nazionale
SM	Riserva idrica del suolo (Soil Moisture)
SPI	Indice di Precipitazione Standardizzato
SQI	Soil Quality Index
SST	Superficie totale comunale
St	Sommatorie termiche
U.B.A.	Unità di bovino adulto
UCEA	Ufficio Centrale di Ecologia Agraria
UNCCD	Convenzione delle Nazioni Unite per la Lotta contro la Siccità e la Desertificazione
UNEP	United Nations Environment Programme
USDA	Dipartimento dell'Agricoltura degli Stati Uniti
USLE	Universal Soil Loss Equation
VD	Vulnerabilità alla desertificazione
VQI	Vegetation Quality Index



## INTRODUZIONE

I processi di degrado delle terre evidenziano in genere situazioni ambientali abbastanza complesse che riducono progressivamente la fertilità dei suoli e conducono, in assenza di misure correttive, verso condizioni irreversibili di desertificazione. Questi processi, che vedono coinvolti aspetti fisici e biologici dell'ecosistema (Thornes & Brandt 1995), comportano inevitabili ripercussioni sulla società e sulle attività economiche ma, al tempo stesso, ne sono anche influenzati (Kosmas *et al.* 1999). Per desertificazione si intende, quindi, un processo dinamico, che si evolve nel tempo, in grado di alterare gli equilibri degli ecosistemi agendo negativamente sui cicli vitali e sulla disponibilità e produttività delle risorse naturali. All'origine dei fenomeni di degrado e desertificazione si riconoscono cause naturali (come i cambiamenti climatici) e cause antropiche (Brouwer *et al.* 1991) conseguenti, queste ultime, di uno sfruttamento non sostenibile delle risorse naturali, depauperamento ed abbandono delle aree non più produttive (Enne *et al.* 1998).

La desertificazione è attualmente una delle più gravi emergenze ambientali e minaccia circa un quarto delle terre del pianeta e con esse anche l'esistenza di circa un miliardo di persone che vivono in oltre cento Paesi considerati a rischio. L'Italia, validamente impegnata sul fronte degli aiuti ai Paesi economicamente meno evoluti dove i processi di desertificazione sono spesso più diffusi ed evidenti, ricade essa stessa in un contesto di criticità ambientale connessa soprattutto ai cambiamenti climatici (aumento delle temperature, diminuzione delle precipitazioni, eventi estremi, prolungati periodi di siccità, etc.), all'alta frequenza di incendi boschivi (con distruzione più o meno cospicua delle risorse forestali), alla presenza di suoli con marcata tendenza all'erosione, alla crisi dell'agricoltura tradizionale (con il conseguente abbandono di vaste aree), al sovrasfruttamento delle risorse idriche.

L'esposizione ai suddetti fattori di degrado, tuttavia, varia sensibilmente da zona a zona con il risultato di ampliare ulteriormente le differenze esistenti fra diverse aree del Paese in termini di disponibilità di risorse e di potenzialità di sviluppo. Una maggiore vulnerabilità ai processi di degrado delle terre e di desertificazione comporta, in ogni caso, l'estensione degli ambiti marginali, soprattutto nelle aree più aride del nostro Paese.

Per le Nazioni Unite, per le organizzazioni internazionali e per i governi dei Paesi direttamente colpiti e non, inquadrare il problema della desertificazione nella sua complessità e gravità è risultato essere un processo lungo e lento, nonostante il ripetersi di catastrofi umanitarie conseguenti a quei fenomeni. Dalla fase di analisi a quella operativa, le varie azioni di intervento sono state spesso mirate a risolvere le emergenze del momento o a correggere interventi precedenti, piuttosto che essere ragionevolmente ispirate a strategie di lungo periodo.

Nel bacino Mediterraneo le aree soggette a desertificazione, al momento ancora piuttosto limitate in termini di superficie, sono spesso frammiste a zone a rischio. Ancora più diffuse, per l'azione di differenti cause ambientali, appaiono le aree sensibili ai fenomeni di desertificazione, aree dove la presenza di alcuni fattori caratteristici (copertura vegetale, agricoltura, irrigazione) mitiga l'avanzata dei processi di degrado (Costantini *et al.* 2004).

È opportuno, pertanto, fornire una definizione dei principali termini in uso. Le varie definizioni prendono spunto da valutazioni ampiamente dibattute in ambito internazionale con particolare riferimento al bacino Mediterraneo (e.g. Le Houerou 1993). Per sensibilità alla desertificazione si intende la condizione ambientale in cui il fenomeno di degrado è presente ed attivo ma il suolo non ha ancora perso del tutto la sua potenzialità biologica (e.g., Brandt *et al.* 2003). Le aree desertificate, generalmente riscontrabili in ambienti aridi e semi-aridi, sono pertanto rappresentate da territori che mostrano una *sterilità funzionale*, ovvero dove l'agricoltura e la silvicoltura non sono più sostenibili, né ecologicamente, né economicamente (e.g., Costantini *et al.* 2004).

Al concetto di desertificazione si affianca dunque quello di *land degradation*, che indica la riduzione della produttività biologica ed economica del suolo che colpisce gli ecosistemi agrari irrigui e non irrigui, i pascoli e gli ambienti forestali (Grove & Rackham 1996). La desertificazione è inquadrabile come una forma severa di *land degradation* che implica la perdita irreversibile (o difficilmente reversibile) della capacità dell'ecosistema di sostenere forme produttive di agricoltura, zootecnia e silvicoltura di rilevanza economica (e.g., Enne & Zucca 2000).

Nel sud Italia, dove si concentrano le maggiori preoccupazioni della comunità scientifica circa il possibile innesco di fenomeni irreversibili di degrado dei suoli, la desertificazione assume spesso la fisionomia caratteristica dei terreni calanchivi, oppure dei litorali esposti ad una crescente erosione o, ancora, dei campi abbandonati, dei centri urbanizzati densamente abitati e fortemente degradati che, avendo perso quasi del tutto il tradizionale ruolo di gestione e tutela del territorio, riflettono ormai solo una devastante pressione antropica sul territorio. Le attività economiche presenti in questi ambiti, in origine basate prevalentemente sull'agricoltura, puntano spesso verso uno sviluppo che, come nel caso del turismo di massa, può sconvolgere i delicati equilibri ambientali di terre di antica tradizione rurale, spesso aride e povere.

Non bisogna dimenticare, tuttavia, quanto l'agricoltura rappresenti essa stessa un fattore di pressione nei processi di degrado delle terre (e.g., Grove & Rackham 1996, Kosmas *et al.* 1999): le problematiche ambientali comuni a gran parte del paesaggio agrario sono legate da un lato alla progressiva concentrazione e specializzazione dei sistemi produttivi e, dall'altro, alla marginalizzazione delle aree meno idonee all'uso agricolo. Il paesaggio rurale alterna di frequente zone ad elevata intensità produttiva e vasti ambiti al limite dell'abbandono. La possibilità di riequilibrare un sistema sempre meno sostenibile è legata, dunque, alla capacità di adottare sistemi produttivi eco-compatibili nelle aree ad agricoltura intensiva e alla possibilità di rendere economicamente convenienti le produzioni agricole nelle aree marginali.

Prendendo spunto da recenti studi sulla sostenibilità dei sistemi agricoli italiani (Trisorio 2005), la componente agricola dovrebbe essere valutata in termini di rilevanza delle diverse dimensioni economiche, sociali ed ambientali ad essa associate. Nella prima dimensione individuiamo l'uso efficiente delle risorse e la vitalità del settore agricolo, nonché il contributo del settore primario alla conservazione delle aree rurali. La dimensione sociale fa specifico riferimento al capitale umano ed alle sue caratteristiche, ivi comprese la cultura contadina ed eno-gastronomica e, più in generale, le tipiche tradizioni locali. La dimensione ambientale evidenzia, infine, i meccanismi di gestione e di conservazione delle risorse naturali in termini di paesaggio, risorse idriche e suolo.

I costi conseguenti al degrado delle terre sono difficilmente quantizzabili (cfr. Salvati & Carlucci 2007) ma appaiono comunque ingenti (Pearce 1993, Bojo 1996). Lo sviluppo di politiche che sappiano adottare misure atte a frenare l'erosione ed il degrado dei suoli viene ostacolata dall'insufficienza e lacunosità dei dati quantitativi sull'entità del fenomeno, nonché dalla mancanza di analisi microeconomiche sulle percezioni e reazioni al degrado da parte degli operatori presenti sul territorio (*in primis* gli agricoltori) e sull'effetto di potenziali incentivi che possano promuovere la tutela di questa fondamentale risorsa. Ad esempio, l'efficacia degli incentivi economici nel condizionare la scelta degli agricoltori ad investire nella difesa del suolo, dipende dall'immediatezza dei benefici che essi ne possono ricavare. Modifiche relative alle pratiche colturali e di tutela del paesaggio possono essere applicate e dare risultati soddisfacenti nella mitigazione dei fenomeni di degrado solo se gli operatori percepiscono tali fenomeni come una diretta minaccia alla redditività aziendale. Tali misure, inoltre, potranno trovare applicazione più tempestiva in quegli ambiti territoriali dove la produzione agricola rappresenta un contributo significativo alla produzione del reddito locale.

In Italia, il monitoraggio dei fenomeni di siccità e dei processi di desertificazione è attivo da diversi anni coinvolgendo istituzioni pubbliche a vario livello fra cui gioca un importante ruolo di promozione e coordinamento il

Comitato Nazionale per la Lotta alla Siccità e alla Desertificazione (CNLSD)<sup>1</sup>. Fra le molteplici attività del CNLSD, si annovera, a partire dal 2004, la predisposizione di specifici Accordi di Programma (AdP), stipulati e finanziati dal Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare (MATM), aventi come finalità la promozione di azioni integrate di contrasto della siccità, mitigazione dei fenomeni di degrado del territorio e di monitoraggio della desertificazione. In tale ambito, ad esempio, è stato promosso nel 2004 uno studio delle principali cartografie nazionali sul rischio di desertificazione, condotto in stretta collaborazione da APAT<sup>2</sup> e UCEA<sup>3</sup>, con l'obiettivo di redigere linee guida utili alla predisposizione di cartografie, indicatori e sistemi di monitoraggio integrato a valenza nazionale e regionale. Nell'Accordo di Programma 2005, il CRA-CMA, potendo avvalersi anche del contributo e dell'esperienze pregresse del CRA-ABP<sup>4</sup> e dell'APAT, è stato incaricato del presente lavoro, ovvero di predisporre una procedura di valutazione e una base di dati ed indicatori al fine di comporre una cartografia sulla vulnerabilità ambientale ai fenomeni di degrado delle terre e ai processi di desertificazione riferita all'intero territorio nazionale.

L'azione progettuale è stata quindi impostata con l'intento di utilizzare indicatori e modelli di valutazione – da applicare a livello nazionale e riproponibili anche a livello regionale e locale – il più possibile condivisi e verificati a livello metodologico, sulla base delle esperienze pregresse maturate sia in Italia (e.g. Ceccarelli *et al.* 2006) che negli altri paesi dell'Europa mediterranea. La base informativa così ottenuta, insieme all'applicativo informatico (GIS browser) realizzato, intende rispondere a esigenze di carattere scientifico, operativo e

<sup>1</sup> L'Italia ha firmato nel 1994 la Convenzione delle Nazioni Unite per la Lotta contro la Siccità e la Desertificazione (United Nations Convention to Combat Drought and Desertification – UNCCD) ratificandola, poi, con la Legge 4 giugno 1997, n. 170. In ottemperanza agli impegni sottoscritti e in qualità di Paese "affetto", anche l'Italia ha designato uno specifico organo istituzionale per elaborare ed eseguire i programmi d'azione nazionali per contrastare la desertificazione e attenuare gli effetti della siccità. Con il DPCM 26 settembre 1997 è stato quindi formalmente istituito presso il Ministero dell'Ambiente il **Comitato Nazionale per la Lotta alla Siccità e alla Desertificazione (CNLSD)**, organismo collegiale di carattere istituzionale, costituito dai rappresentanti di vari Ministeri, Istituzioni pubbliche, Enti di ricerca, nonché Organizzazioni istituzionalmente coinvolte nelle attività di lotta alla desertificazione. In concomitanza, è stato avviato il Programma di Azione Nazionale per la lotta alla siccità e alla desertificazione – PAN (Delibera CIPE 229 del 21/12/99, pubblicata sulla GURI n. 37 del 15/02/00), secondo le linee guida approvate dal CNLD il 22/07/99.

<sup>2</sup> Agenzia per la protezione dell'ambiente e per i servizi tecnici (APAT).

<sup>3</sup> Ufficio Centrale di Ecologia Agraria (UCEA) del Consiglio per la Ricerca e Sperimentazione in Agricoltura (CRA). Dal 9 agosto 2007 l'UCEA ha assunto la nuova denominazione di "Unità di ricerca per la climatologia e la meteorologia applicate all'agricoltura". Da ora in poi sarà indicato con l'acronimo CRA-CMA.

<sup>4</sup> Centro di ricerca per l'agrobiologia e la pedologia (ex Istituto Sperimentale per lo Studio e la Difesa del Suolo – ISSDS) del Consiglio per la Ricerca e Sperimentazione in Agricoltura.

gestionale attraverso una valutazione quantitativa del fenomeno e della sua evoluzione nel tempo. Infine, tale sistema può fornire indicazioni operative sull'importanza relativa delle variabili da considerare, sulle procedure di derivazione degli indici sintetici di vulnerabilità, sull'analisi e rappresentazione di dati a diversa scala spaziale e temporale.

Ecco dunque tratteggiate alcune delle motivazioni alla base di questa ricerca: rispondere alla necessità di disporre di un corredo informativo scientificamente solido, tecnicamente rilevante per la quantità e la qualità dei dati e delle variabili considerate, integrato dal punto di vista della multidisciplinarietà degli approcci scientifici, utile per interpretare, alla luce dei più recenti cambiamenti ambientali e sociali, l'evoluzione dei fenomeni di degrado delle terre a partire da una valutazione sintetica della vulnerabilità del territorio italiano condotta a scala locale.

L'insieme degli indicatori tematici qui proposti appare congruo, a livello spaziale e temporale, con la metodologia quantitativa applicata che risulta in grado di rappresentare, in maniera sufficientemente dettagliata, per la scala geografica adottata, i principali fattori di vulnerabilità ambientale considerati come predisponenti per i fenomeni di degrado delle terre e della desertificazione.

I risultati del lavoro evidenziano la dimensione spaziale e l'evoluzione temporale dei principali fattori che intervengono nei fenomeni di degrado che determinano la vulnerabilità del territorio italiano alla desertificazione. La definizione di un *set* ampio di indicatori ambientali legati ai suddetti fenomeni è stata operata, nelle loro interrelazioni causali, attraverso lo schema logico DPSIR e restituiti cartograficamente a livello nazionale per due periodi di riferimento (1990 e 2000). È stato predisposto, inoltre, attraverso il computo di indici già noti in letteratura (modello ESA) o elaborati in forma originale (indici somma in Salvati *et al.* 2005, 2006), un sistema geografico e statistico di sintesi, in grado di fornire elementi oggettivi e puntuali di valutazione della vulnerabilità ai fenomeni di degrado delle terre.

Il progetto ha cercato di valorizzare sia le potenzialità delle banche dati interne al gruppo di lavoro (precipuamente a carattere agro-climatico), sia l'integrazione spinta con altre fonti dati, di natura cartografica ed ambientale (e.g. Cartografia Corine Land Cover) ma anche di origine più tipicamente statistica (e.g. censimenti generali della popolazione e dell'agricoltura).

Nel disegno della ricerca sono state seguite le linee-guida proposte nel manuale APAT-UCEA sulla cartografia del rischio di desertificazione (Ceccarelli *et al.*, 2006). Tali indicazioni, in un campo così complesso e per molti versi ancora da approfondire metodologicamente, possono essere ritenute al momento un valido riferimento operativo per i vari livelli di indagine territoriale da realizzare (nazionale, regionale o locale).

Nella tabella A viene proposto uno schema sintetico del piano di lavoro

seguito in questo lavoro: sono evidenziati gli snodi critici e, ove ritenuto opportuno, anche le soluzioni adottate e gli obiettivi raggiunti.

Tabella A – Piano della ricerca e principali azioni metodologiche e operative

1. stato dell'arte delle ricerche a livello italiano ed internazionale;
2. definizione delle problematiche e dei termini;
3. generalizzazione di un modello DPSIR in funzione dei fenomeni di degrado delle terre;
4. individuazione delle dimensioni di ricerca (clima, suolo, vegetazione, pressione antropica);
5. identificazione dei sistemi di degrado delle terre (cambiamenti climatici, urbanizzazione/sigillamento, salinizzazione, erosione idrica, inquinamento, agricoltura);
6. individuazione dei fattori di pressione ambientali e loro classificazione in categorie DPSIR;
7. scelta delle variabili di analisi e loro traduzione in indicatori oggettivi quantitativi;
8. qualificazione degli indicatori per periodo temporale (1990 e 2000) e per scala spaziale;
9. classificazione e ruolo degli indicatori (indicatori Hard e Soft);
10. individuazione della relazione casuale degli indicatori con fenomeni di degrado delle terre;
11. restituzione cartografica degli indicatori elementari;
12. creazione della matrice dei dati raster;
13. computo dell'indice sintetico di vulnerabilità con modello ESA:
  - 13.1 predisposizione di un sistema di pesi per indicatori Hard;
  - 13.2 calcolo indice sintetico tramite composizione a media geometrica;
14. computo dell'indice sintetico di vulnerabilità con modelli originali:
  - 14.1 trasformazione ordinale degli indicatori Hard e creazione griglia di estrazione
  - 14.2 estrazione delle Empirical Orthogonal Functions dalla matrice dei dati e calcolo indice sintetico con procedure GIS

Come passo propedeutico è stato necessario attribuire, dal punto di vista concettuale e terminologico, un significato univoco ai concetti di *sensibilità*, *vulnerabilità* e *rischio* al fine di evitare possibili diversità di interpretazione nella definizione di aree sensibili, vulnerabili, a rischio. L'uso dei suddetti termini, infatti, può generare ambiguità o confusione essendo spesso utilizzati indifferentemente per esprimere una stessa caratteristica, mentre, in altri casi, a ciascun termine può essere associato un gradiente di importanza (ad esempio, la catena sensibilità – vulnerabilità – rischio potrebbe rappresentare un gradiente crescente di gravità del fenomeno), oppure il riferimento a stadi temporali del fenomeno (ad esempio, sensibilità = *actual state*, vulnerabilità = *potential state*, rischio = *the most probable scenario*) (cfr. Ceccarelli *et al.*, 2006).

In questo lavoro è stato scelto di utilizzare il concetto di vulnerabilità al degrado delle terre (e alla desertificazione) perché ritenuto più rispondente alla particolare situazione territoriale italiana, estremamente eterogenea dal punto di vista ambientale dove, accanto alla visibile presenza dei suddetti fenomeni in alcune limitate aree (principalmente localizzate nelle regioni meridionali), è

possibile verificare condizioni di degrado più o meno gravi che, pur essendo poco manifeste o *in nuce*, risultano abbastanza diffuse e in fase di peggioramento (in particolare nel corso degli ultimi anni a causa soprattutto del cambiamento climatico e di una maggiore pressione antropica).

Da tali concetti è derivata la scelta di utilizzare indicatori elementari e indici sintetici per giungere ad un modello integrato di stima del fenomeno. Nei capitoli successivi saranno individuati e chiariti i principali determinanti dei processi di degrado ed il contesto nazionale ed internazionale nel quale sono nate le diverse esperienze di studio pregresse. Per quanto attiene al livello di elaborazione degli indicatori tematici e al modello di indice sintetico, saranno esplicitate le elaborazioni degli indici (e relative mappature) riferibili ai tre concetti descritti al punto precedente: sensibilità, vulnerabilità e rischio sottintendono concetti, misure e modelli specifici. Nei capitoli successivi, inoltre, saranno specificate le variabili considerate (in termini spaziali e temporali) e le fonti informative da cui sono state tratte, la loro classificazione, pesatura e aggregazione, come esse sono state aggregate in indicatori tematici, come è stato derivato l'indice sintetico ed, infine, la risoluzione spaziale e temporale dell'unità geografica a cui fa riferimento l'indice.

La valutazione cartografica, infatti, esplicita sia le componenti utilizzate che la procedura di elaborazione in merito alla corrispondenza tra variabili e *dataset*, agli algoritmi utilizzati per il calcolo delle variabili e per derivare gli strati informativi, alla coerenza spaziale e temporale.

Per l'interpretazione dei fenomeni di degrado delle terre, come già detto, ci si è avvalsi del *framework* DPSIR, uno schema logico ampiamente diffuso a livello comunitario per lo studio dei temi ambientali, la cui descrizione è ampiamente illustrata nei capitoli successivi. Tale schema è stato affiancato da una classificazione in sistemi di degrado, attraverso uno sforzo concettuale al fine di individuare, almeno da un punto di vista semplificato, i possibili processi in grado di incrementare il livello di vulnerabilità del territorio.

Il sistema di indicatori utilizzato risponde ad alcuni criteri (e.g. Brandt *et al.* 2003, Ceccarelli *et al.* 2006) quali l'immediata formulazione empirica, l'accessibilità a livello informatico, l'attendibilità e l'efficacia a livello statistico, l'adattabilità ad esigenze di analisi multi-temporale nonché a valutazioni a scala geografica di dettaglio. Tali indicatori sono commentati singolarmente attraverso analisi cartografiche e statistiche. La restituzione dei dati a scala regionale e per fascia altimetrica consente un'agevole lettura aggregata dei fattori.

Infine, va sottolineato come aspetto originale di questa ricerca l'interpretazione multi-temporale dei fenomeni indagati. Tale approccio, sebbene limitato allo studio di due serie storiche, consente una visione d'insieme del fenomeno, attraverso l'analisi dell'evoluzione delle variabili elementari e degli indici sintetici. Fino ad ora, gli studi sulla desertificazione a livello nazionale avevano privilegiato una visione fotografica 'istantanea' del fenomeno, non cogliendo le

tendenze, soprattutto a livello locale, che tanto peso hanno anche nella implementazione di opportune azioni di *policy*.

Il risultato finale è rappresentato dalla formulazione di indicatori sintetici di vulnerabilità ai processi di degrado delle terre visti nell'ottica del cambiamento climatico e dei fenomeni di pressione antropica, analizzati a livello nazionale e regionale attraverso apposita cartografia e descrizione statistica delle variabili più significative.



# CAPITOLO 1

## DEGRADO DELLE TERRE E DESERTIFICAZIONE

*Faber est suae quisque fortunae.*  
(L'uomo è artefice del proprio destino)

CLAUDIO CIECO APPIO

Il concetto di desertificazione ha subito, dagli anni '70 ad oggi, una continua evoluzione che ha condotto, attraverso una graduale transizione, verso definizioni che tengono in maggiore considerazione le interazioni dell'ambiente con le attività umane. Sulla base di questa accezione, la desertificazione può essere intesa come “*degrado delle terre nelle aree aride, semi-aride e sub-umide secche, attribuibile a varie cause, fra le quali le variazioni climatiche e le attività antropiche*”. Tale definizione, adottata dalla Convenzione delle Nazioni Unite per la Lotta contro la Siccità e la Desertificazione (UNCCD), circoscrive l'ambito territoriale in funzione delle caratteristiche climatiche ed introduce alcuni concetti chiave di carattere innovativo: le *cause* possono essere di origine sia naturale che antropica; il degrado viene inteso non solo come perdita delle caratteristiche fisiche e biologiche, ma anche come diminuzione di redditività economica; le *zone aride, semi-aride e sub-umide secche* individuano le aree del pianeta maggiormente vulnerabili che, pertanto, richiedono interventi urgenti (Ceccarelli *et al.* 2006).

Le valutazioni delle Nazioni Unite presentano una panoramica relativa all'intensità e diffusione del fenomeno abbastanza preoccupante: circa il 70% delle terre aride coltivabili, pari a quasi il 30% del totale delle terre emerse, è già colpito oppure è a rischio di desertificazione. Il problema si presenta particolarmente grave in Africa e in vari Paesi in Asia, Sud America e Caraibi. Anche gli Stati Uniti, l'Australia e l'Europa meridionale (soprattutto Italia, Grecia, Portogallo e Spagna) non ne sono del tutto indenni.

In Italia, veri e propri processi di desertificazione sono manifesti in aree circoscritte delle regioni meridionali ed insulari (Basilicata, Puglia, Calabria, Sardegna e Sicilia) dove, oltre allo stress di natura climatica e alla pressione delle attività umane sull'ambiente, spesso si aggiunge una riduzione della produttività biologica ed agricola ed una progressiva perdita di biodiversità degli ecosistemi naturali. D'altra parte, le regioni del centro-nord, che non sembrerebbero soffrire di fenomeni di desertificazione conclamati, manifestano un peggioramento della situazione idro-meteorologica e sono sempre più esposte all'irregolarità delle precipitazioni, all'insidia della siccità e del progressivo inaridimento (Salvati *et al.* 2005, Perini *et al.* 2007). Esse sperimentano, inoltre, un peggiora-

mento delle condizioni agro-ambientali dovuto a stress di natura antropica che si manifesta sia attraverso le conseguenze dell'intensificazione agricola e dell'erosione dei suoli, sia con l'accelerazione dei tassi di urbanizzazione e cementificazione dello spazio rurale (*urban e suburban sprawl*) cui si devono, inoltre, la modificazione e la frammentazione del paesaggio agrario.

D'altronde, il degrado delle terre, visto nelle sue dimensioni ecologica ed economica, non riguarda soltanto le zone aride e/o marginali ma si estende fino a toccare quasi tutti i sistemi agricoli, nonché molti terreni forestali e a pascolo (e.g. Pearce, 1993).

Nel nostro Paese, contraddistinto da un territorio fortemente antropizzato e da una morfologia complessa, la diffusione dei fenomeni di degrado è da mettere in relazione anche con l'espansione urbana che, al tradizionale assetto del paesaggio costituito da sistemi abitativi a forte penetrazione naturale e a basso consumo di risorse, ha affermato un modello basato su cementificazione massiccia, dispendio energetico ed inquinamento ambientale.

Le peculiarità ambientali e socio-economiche che accomunano l'Italia ai paesi della regione Nord Mediterranea, oltre a condizioni climatiche semi-aride e sub-umide secche, siccità stagionali, grande variabilità del regime pluviometrico e piogge improvvise e violente, sono la presenza di suoli poveri e sensibili all'erosione, di forti pendii e paesaggi frammentati, perdita di copertura forestale dovuta agli incendi.

In Italia, poi, sono presenti altri fattori di degrado quali, ad esempio, l'abbandono dell'attività agricola e il conseguente deterioramento delle strutture fondiarie, lo sfruttamento non sostenibile delle risorse idriche, la concentrazione delle attività economiche nelle zone costiere, lo sviluppo incontrollato dell'urbanizzazione, delle attività industriali, del turismo e dell'agricoltura intensiva che contribuiscono, nel complesso, ad aumentare la vulnerabilità del territorio.

I fenomeni di desertificazione sono spesso innescati da condizioni di iniziale degrado dei suoli. Secondo l'OCSE<sup>1</sup>, i principali processi di degrado dei suoli e dell'ambiente, sono generalmente riconducibili a: erosione, sommersione, acidificazione, salinizzazione, sodicizzazione, compattamento lungo il profilo, formazione di croste superficiali, perdita di sostanza organica, deterioramento della struttura, accumulo di sostanze tossiche, perdita di elementi nutritivi.

I due terzi dei suoli del nostro Paese presentano problemi più o meno gravi di degrado anche in virtù di una gestione non sempre appropriata. Tali fenomeni si sono accentuati in quelle aree ove più forte è la presenza umana le cui attività economico/produttive non sempre risultano compatibili con i criteri fondamentali della conservazione del suolo. È evidente che l'evoluzione degli indirizzi produttivi verso un insostenibile sfruttamento delle risorse naturali e l'uso non razionale degli strumenti e delle tecniche agricole avvenuta negli ultimi 30-40 anni,

<sup>1</sup> Organizzazione per la Cooperazione e lo Sviluppo Economico (OCSE) – [www.oecd.org](http://www.oecd.org)

a fronte di sostanziali incrementi delle rese colturali e nel reddito degli agricoltori, nel lungo termine hanno favorito l'innescare di fenomeni di degradazione dell'ambiente. Un esempio è rappresentato dall'erosione dei suoli: non è pensabile, infatti, praticare un'attività agricola, sia pure nelle forme più razionali e sostenibili, che sia in grado di annullare completamente il fenomeno erosivo; in questo caso, però, è importante conoscere il limite, per ogni determinato ambiente pedologico, entro il quale l'erosione stessa può e deve essere contenuta.

Il degrado del suolo è una problematica molto complessa che affrisce a diversi altri fenomeni quali la perdita di struttura, le variazioni di porosità e di conducibilità idraulica, la diminuzione della capacità di tesaurizzare l'acqua, la formazione di strati impermeabili, la perdita di sostanza organica, etc.

Infine, la capacità di un suolo di mantenere le sue molteplici funzioni è connessa anche alle sue caratteristiche chimiche e biologiche. Molte di queste proprietà dipendono dal contenuto in sostanza organica che, a sua volta, rappresenta la principale riserva di nutrienti essenziali dei vegetali.

La stima dei vari fenomeni di degrado dei suoli si avvale di indicatori pedologici la cui definizione è resa difficoltosa dalla carenza o non uniforme disponibilità di dati a copertura nazionale e/o regionale. Ciò impone l'utilizzazione di tecniche indirette di valutazione basate, ad esempio, su foto aeree o satellitari, oppure sull'uso di indicatori *proxy* quali, ad esempio, l'indice del rischio di compattazione dei suoli ottenuto in relazione al numero ed alla potenza delle trattrici presenti in quell'ambito territoriale, oppure l'indice di erosione dei suoli calcolato a partire da informazioni climatiche, pedologiche, vegetazionali e topografiche.

## 1.1 LE CAUSE

Le cause del degrado dei suoli sono legate, come già detto, a diversi fattori di pressione di origine sia naturale che antropica. La desertificazione si può considerare la risultante finale di questo complesso sistema di interazioni che porta a pregiudicare, in modo pressoché irreversibile, la capacità produttiva degli ecosistemi naturali, agricoli e forestali. Per dare un'idea della complessità dei fenomeni e della conseguente difficoltà della loro misurazione, citiamo alcuni determinanti che possono condurre al degrado dei suoli: l'erosione, la conversione delle aree agricole dovuta all'urbanizzazione ed alle dinamiche di popolazione nelle aree costiere, lo sfruttamento eccessivo delle falde idriche, la salinizzazione primaria e secondaria, gli effetti della compattazione, l'impatto degli incendi forestali e dei disboscamenti, la perdita di suoli su detriti alluvionali recenti a causa dell'estrazione di sabbia e ghiaia, la contaminazione da metalli pesanti (suoli situati nei pressi di aree minerarie o soggetti ad altri tipi di contaminazione come i *dump sites* di industrie chimiche).

I singoli fattori possono essere distinti in base alle cause scatenanti, generalmente classificate in naturali o antropogeniche. Nel primo caso, gli aspetti che caratterizzano maggiormente i fenomeni di degrado sono tipicamente di ordine climatico, legati, in particolare, alle caratteristiche delle precipitazioni in termini di quantità, intensità e distribuzione. Essi possono essere quindi qualificati in base alle seguenti dimensioni: aridità, siccità ed erosività della pioggia.

L'*aridità* rappresenta una caratteristica strutturale del clima, dovuta alla concomitanza di apporti piovosi molto scarsi (non più di 200-400 mm per anno) ed a intensa evaporazione, tali da creare condizioni edafiche non idonee alla vegetazione, in particolare per quanto riguarda il livello di umidità del terreno.

La *siccità*, pur comportando gli stessi effetti dell'aridità, rappresenta invece un fenomeno transitorio o episodico (anche se in molti casi ricorrente) in grado di colpire qualsiasi ambito territoriale e in qualsiasi stagione dell'anno. La siccità si manifesta allorché gli apporti delle precipitazioni meteoriche si attestano su livelli sensibilmente inferiori a quelli normalmente attesi (siccità "meteorologica"). I danni economici, ambientali e sociali che ne derivano, a parità di ogni altra condizione, appaiono proporzionalmente legati alla durata del fenomeno (misurata in numero di giorni o *dry spell*). L'orizzonte temporale determina quindi il grado di severità della siccità i cui effetti possono interessare progressivamente settori sociali ed economici sempre più ampi. In tal senso, si definisce "agricola" la siccità che per intensità e durata mette in seria crisi il settore produttivo agricolo, mentre si definisce "idrologica" quella che, incidendo sulla portata dei corpi idrici, può creare un'emergenza anche per il settore industriale e gli usi civili. Gli ecosistemi naturali, essendo il risultato di uno spontaneo e graduale adattamento all'ambiente, possiedono in genere una intrinseca resilienza che consente loro di superare i periodi "fisiologici" di siccità. Gli agro-ecosistemi, forzati dall'uomo per assicurare produzione e redditività economica, possono, invece, subire danni in varia misura per l'innescarsi di possibili processi di degrado del territorio dovuti a sovrasfruttamento delle fonti irrigue, utilizzazione di acque non idonee all'irrigazione, eccessiva concentrazione di nutrienti minerali nel suolo, etc.

La siccità può colpire sfortunatamente anche zone a clima arido dove lo sfruttamento delle risorse idriche è quasi sempre molto vicino, se non addirittura superiore, alla soglia critica della sostenibilità ambientale. In casi del genere, anche un qualunque apporto pluviometrico in meno può rompere il precario equilibrio ambientale determinando un aggravamento delle condizioni di vivibilità, crisi alimentari, abbandono dei territori e, nei casi più estremi, perfino migrazioni e conflitti per l'accesso alla risorsa idrica<sup>2</sup>.

<sup>2</sup> Attualmente si stima che i "rifugiati ambientali", in prevalenza da Paesi del Nord Africa, del subcontinente indiano, delle Filippine e perfino dei Caraibi, siano almeno 25 milioni. Tale cifra potrebbe raddoppiare entro il 2010, o anche prima, se dovessero avverarsi le previsioni più

L'*erosività della pioggia* è legata fondamentalmente all'intensità delle precipitazioni ma anche al tipo di suolo che subisce l'azione battente delle idrometeor. L'impatto della pioggia su terreni declivi o privi di copertura vegetale, infatti, ha maggiori possibilità di disgregare gli strati superficiali del suolo, in genere più ricchi di sostanza organica e, quindi, più fertili, facilitandone il distacco e la dispersione. Nelle zone aride, semi aride e sub-umide secche, a prescindere dal possibile danno, nella maggior parte dei casi le piogge intense non sortiscono neppure il beneficio di mitigare la secchezza dei suoli o di favorire la tesaurizzazione della pioggia caduta. In questi casi, l'apporto idrico viene perso soprattutto per ruscellamento superficiale che favorisce ulteriormente l'erosione dei suoli e i processi di desertificazione.

Anche in Italia, dove i segnali di cambiamento climatico sono principalmente riavvisati nella riduzione degli apporti meteorici e nell'aumento delle temperature, è emersa chiaramente la più alta incidenza di piogge intense (*heavy rain*), sia in termini di numero di eventi (soprattutto in estate), sia in termini di aliquota sul totale complessivo di pioggia caduta nell'anno ma, soprattutto, in autunno ed inverno (Perini *et al.* 2007).

I processi di degradamento indotti dai fenomeni atmosferici evidenziano una particolare vulnerabilità ambientale che, in molti casi, può essere enfatizzata dalla presenza di altri fattori di degrado fra cui, in primo luogo, gli effetti che derivano dalle attività antropiche non compatibili e/o la pregressa fragilità degli ecosistemi caratterizzati da equilibri bio-fisici non consolidati (ambienti di transizione). Si pensi alla litologia (suoli altamente erodibili derivanti da rocce calcaree o formazioni sedimentarie argilloso-sabbiose), all'idrologia (prelievi eccessivi e non pianificati nonché inquinamento puntiforme e diffuso di diversa origine), alla pedologia (scarsa profondità dello strato pedogenetico, mancanza di struttura, scarso contenuto di sostanza organica, bassa permeabilità), alla morfologia (l'esposizione dei versanti e la pendenza del terreno costituiscono un importante fattore di vulnerabilità del territorio nel contesto climatico e geomorfologico delle regioni soggette a condizioni di stress idrico e concorrono quindi a determinare fenomeni erosivi di tipo meteorologico), nonché alla vegetazione (la continuità e la ricchezza di specie della copertura vegetale sono essenziali in relazione alla capacità di protezione del suolo, Brouwer *et al.* 1991).

Dal punto di vista antropico, le principali cause del degrado delle terre sono riconducibili all'impatto delle attività economiche, spesso responsabili di uno sfruttamento delle risorse naturali non compatibile con l'effettiva sostenibilità ambientale. I principali fattori di pressione sono pertanto riconducibili all'agricoltura, alla zootecnia, al sovrasfruttamento delle risorse idriche, agli incendi, all'urbanizzazione ed al turismo.

catastrofiche relative al riscaldamento globale (Norman Myers, 1999, "Esodo ambientale – Popoli in fuga da terre difficili". Edizioni Ambiente).

*Agricoltura* – I processi di degrado del suolo sono spesso imputabili a pratiche agricole tecnicamente scorrette, attuate unicamente allo scopo di massimizzare nell'immediato le rese quantitative attraverso un utilizzo non sostenibile dei mezzi di produzione: impiego eccessivo di fertilizzanti chimici e di pesticidi, uso smodato di risorse idriche inidonee per l'irrigazione, mancata o inidonea rotazione delle colture, etc. D'altro canto, anche l'abbandono del territorio agricolo, in particolare dei sistemi agricoli collinari e montani, costituisce una premessa per l'insorgere di processi di degrado che favorisce il dissesto idrogeologico ed i processi erosivi. Costipazione, incrostamento superficiale, perdita della fertilità chimico-fisica dei suoli, progressiva salinizzazione degli strati superficiali e delle falde, sono solo alcuni esempi di processi che possono essere scatenati da un'attività agricola non attenta ai principi di gestione sostenibile delle risorse naturali.

*Zootecnia* – Anche le attività zootecniche, qualora praticate senza tener conto delle caratteristiche ambientali, possono comportare un impoverimento del terreno ed innescare processi di degrado del suolo. In Italia, nel corso degli ultimi anni, si è evidenziata una graduale e marcata riduzione del patrimonio zootecnico cui, però, ha corrisposto una specializzazione dell'attività che ha favorito la diffusione degli allevamenti intensivi. In diversi casi, l'introduzione coatta dell'allevamento zootecnico, modificando sostanzialmente la vocazione e l'uso tradizionale del territorio, ha prodotto gravi squilibri a carico dell'agroecosistema: in alcuni territori di pianura, ad esempio, si sono manifestati pesanti fenomeni di inquinamento ambientale causato dalla massa imponente delle deiezioni animali e, probabilmente, anche da impropri metodi di smaltimento. In aree marginali di collina e montagna, dove le superfici utilizzabili sono piuttosto limitate, l'impatto degli allevamenti zootecnici si concentra soprattutto dove vi è un più agevole accesso ai pascoli, dove l'acqua si trova in misura relativamente più abbondante, dove esistono strade di comunicazione, disponibilità di energia elettrica, etc. Il carico zootecnico per unità di superficie diviene in questi casi veramente eccessivo con conseguenze tangibili sul degrado della vegetazione, inquinamento, compattazione ed erosione dei suoli.

*Sovrasfruttamento delle risorse idriche* – Il crescente fabbisogno di acqua rende l'uso di tale risorsa non sempre sostenibile dal punto di vista ambientale. Nel corso degli ultimi decenni, la domanda di acqua per usi civili, agricoli e industriali ha comportato infatti un forte incremento dei prelievi e delle derivazioni idriche che ora rischiano di compromettere, sia in termini quantitativi che qualitativi, il patrimonio idrico che l'Italia ha potuto vantare fino ad oggi. L'agricoltura è indubbiamente l'attività produttiva che assomma la maggior parte del consumo idrico nazionale (fra il 60% ed il 70%). La progressiva affermazione di coltivazioni altamente intensive e specializzate – a scapito dei

più sobri ordinamenti colturali tradizionali – ha fatto crescere sensibilmente il fabbisogno irriguo a fronte della diminuzione delle precipitazioni e della complessiva minore disponibilità di risorse idriche. Il fabbisogno idrico colturale, inoltre, risente attualmente della più intensa evapotraspirazione conseguente all’innalzamento delle temperature. Nella Figura 1.1 è mostrato come l’evapotraspirazione di riferimento ( $E_{t_0}$ ) risponde a progressivi incrementi di temperatura media giornaliera ( $\Delta T$ ). Il grafico, ottenuto dall’elaborazione di lunghe serie di dati di oltre 100 stazioni meteorologiche italiane, si riferisce specificamente al periodo estivo (giugno, luglio ed agosto) quando maggiore è il ricorso all’irrigazione.

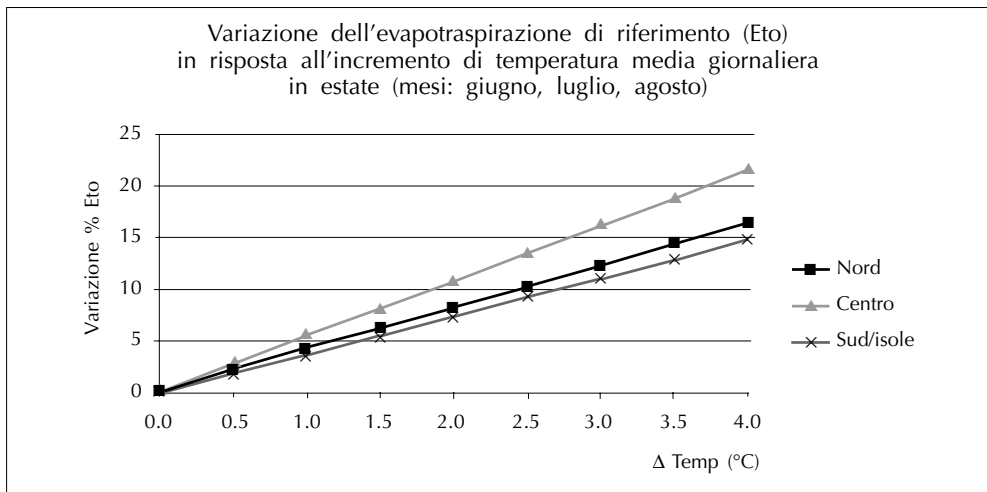


Figura 1.1 – Risposta dell’evapotraspirazione di riferimento ad aumenti di temperatura

La riduzione delle precipitazioni e la modificazione dei regimi pluviometrici verificatisi negli ultimi anni, hanno compromesso oltretutto la capacità di ricarica dei naturali serbatoi di accumulo. Nel 2007, ad esempio, la siccità invernale e primaverile ha comportato un deficit pluviometrico che, già prima dell’inizio dell’estate (Aprile 2007), ha toccato il 34% a livello medio nazionale con punte di oltre del 40% nelle regioni centro settentrionali e del 57% in quelle di nord-ovest. Tutto ciò ha fatto temere per la “tenuta” delle riserve idriche nel corso dell’estate quando più intenso è il prelievo irriguo, portando alla dichiarazione dello stato di emergenza (Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri del 15/06/2007 – G.U. n. 145 del 25/07/2007).

Il maggior prelievo di acqua dai corpi idrici di superficie (fiumi, laghi, bacini di raccolta, etc.) e da quelli del sottosuolo (falde) può determinare, nel lungo periodo e alla fine di una catena di effetti consequenziali, fenomeni di *salinizzazione* più o meno gravi e sterilità dei suoli. I sali solubili, naturalmen-

te presenti nelle acque dolci, nel suolo e nelle rocce, nonché quelli apportati dall'intrusione di acqua marina, possono raggiungere concentrazioni tanto elevate da costituire causa di degrado e sterilità dei suoli. La salinizzazione può essere definita "primaria", se determinata da una genesi naturale, o "secondaria", se prevalgono fattori antropici come, per l'appunto, l'irrigazione. Il fenomeno, a scala mondiale, interessa circa il 10% dei suoli. Benché i suoli affetti da salinità siano abbastanza tipici degli ambienti aridi o semi-aridi, essi si possono ritrovare a qualsiasi latitudine ed altitudine e in qualsiasi tipo di clima. Ciò comprova che il fenomeno risulta spesso un problema di cattiva gestione del territorio.

*Incendi* – Il fuoco può influire sulla composizione e sulla struttura delle comunità vegetali ed animali, condizionandone l'evoluzione e la perpetuazione, ma può avere anche effetti negativi sulle proprietà fisico-chimiche del suolo, rendendolo meno permeabile e, quindi, più esposto a processi erosivi. Le sostanze idrorepellenti che si formano a seguito del passaggio del fuoco, favoriscono lo scorrimento superficiale e quindi il trasporto solido: nella stagione piovosa immediatamente successiva all'incendio problemi idrologici si sviluppano pressoché sistematicamente nelle aree bruciate acclivi. Sebbene gli ecosistemi abbiano la capacità di ricostituirsi, anche se in tempi che possono essere molto lunghi, gli incendi rappresentano una preoccupante piaga che compromette pesantemente le difese naturali nei confronti dei processi di desertificazione.

*Urbanizzazione e turismo* – Il processo di urbanizzazione incide sul fenomeno di desertificazione principalmente in termini di sottrazione di suoli fertili all'impiego agricolo, ma anche attraverso una minore disponibilità di altri fattori della produzione conseguente l'uso competitivo delle risorse ambientali (ad esempio, l'acqua). Le aree urbane e gli insediamenti turistici, in particolare quando sono concentrati su porzioni limitate di territorio (ad esempio lungo le fasce costiere), contribuiscono al processo di desertificazione, in modo sia diretto, per sigillamento dovuto alla cementificazione delle superfici, che indiretto, attraverso l'assorbimento e la distruzione delle risorse naturali nelle aree a forte concentrazione demografica. Un processo analogo, in termini di sottrazione di risorse, avviene anche per effetto della crescente diffusione sul territorio di discariche e di attività estrattive spesso incontrollate. A tali fenomeni sono anche correlati processi di contaminazione che determinano ulteriori forme di degrado.

Nella Figura 1.2 sono schematizzati cause e processi che contribuiscono al degrado dei suoli e alla desertificazione. Riassumendo, i processi di degradazione del suolo possono essere distinti in *fisici*, *chimici* e *biologici*. I primi comportano la perdita della risorsa "suolo" in termini di sottrazione di volume e di superficie (erosione, compattazione, impermeabilizzazione, inaridimento, etc.).



I secondi determinano un deterioramento delle caratteristiche qualitative dovuto alla già citata salinizzazione e alle varie forme di inquinamento da attività umane (fitofarmaci, agenti antimicrobici, farmaci, antifermentativi, antibiotici, detersivi, solventi, lubrificanti, fanghi di depurazione di acque reflue, rifiuti, deiezioni zootecniche, scarti industriali, etc.). Sono, infine, definiti processi di degradazione biologica quelli che provocano un'alterazione dell'attività della flora e della fauna del terreno in seguito a perdita di sostanza organica e di biodiversità. Spesso tali forme di degrado sono il risultato di una gestione del territorio che non ha saputo coniugare le esigenze dello sviluppo produttivo con quelle della conservazione della risorsa.

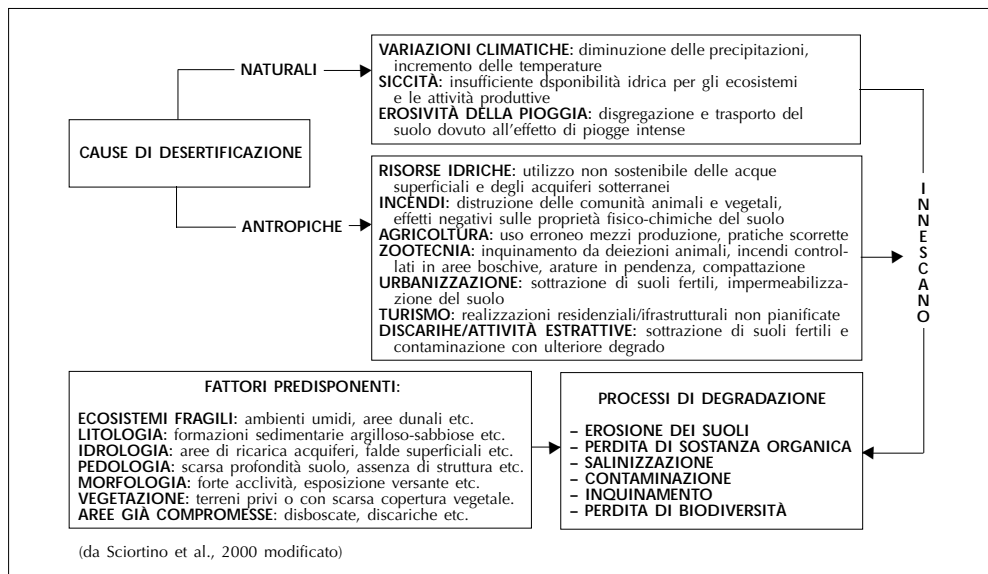


Figura 1.2 – Determinanti dei fenomeni di degrado delle terre

## 1.2 DEFINIZIONI E TERMINI DEL PROBLEMA: SENSIBILITÀ, VULNERABILITÀ E RISCHIO

I termini “*sensibilità*”, “*vulnerabilità*” e “*rischio*” sono spesso utilizzati nel linguaggio comune per esprimere in forma analoga lo stesso concetto. Nella descrizione dei fenomeni connessi alla desertificazione, ciascuna locuzione dovrebbe invece fare riferimento ad un significato preciso benché il gran numero di definizioni esistenti lasci ancora spazio ad una certa indeterminazione. Nella letteratura specializzata, ad esempio, le cartografie di sensibilità si sovrappongono alle cartografie di vulnerabilità o a quelle di rischio pur essendo tutte, in molti casi, il risultato dell'applicazione della stessa metodologia e quindi frutto di una valutazione analoga (cfr. Ceccarelli *et al.* 2006).

In ambito internazionale l'IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) propone le seguenti definizioni:

- **sensibilità:** *grado al quale un sistema è affetto da processi legati alla desertificazione, causati sia da eventi naturali che antropici inclusi i cambiamenti climatici, erosione del suolo, deforestazione, salinizzazione, etc.;*
- **vulnerabilità:** *grado al quale un sistema è suscettibile, o incapace di far fronte, ad effetti negativi della desertificazione.*

Il concetto di sensibilità, pertanto, è legato all'evoluzione dei processi in atto che colpiscono un'area, mentre il concetto di vulnerabilità è riferito all'evoluzione potenziale del problema.

A livello europeo il glossario dell'Agenzia europea per l'ambiente (EEA) riporta le seguenti definizioni generali:

- **area sensibile:** *area in cui devono essere adottate misure speciali per proteggere gli habitat naturali che presentano un elevato livello di vulnerabilità;*
- **vulnerabilità:** *grado a cui un sistema è suscettibile, o incapace di far fronte, ad un danno;*
- **rischio:** *perdite attese (di vite, persone ferite, proprietà ed attività economica danneggiate) dovute ad un particolare pericolo in una certa area ed in un periodo di riferimento.*

Altre definizioni, più specifiche, sono state fornite in ambiti scientifici internazionali e nazionali. Nei Progetti Desertlinks e DISforME, ad esempio, viene definita “**area vulnerabile**” *una specifica entità territoriale nella quale fattori ambientali, socio-economici e di gestione non sono in equilibrio tra loro o non sono sostenibili per quel determinato ambiente.* In tal caso la **vulnerabilità ambientale** è vista come *il risultato delle interazioni di fattori elementari relativi a suolo, clima, vegetazione e aspetti socio-economici che, singolarmente e nel loro insieme, sono più o meno collegati a fenomeni di degradazione ambientale.* La combinazione di fattori ambientali critici come, ad esempio, una morfologia accidentata, suoli fortemente erodibili, andamento climatico sfavorevole, copertura vegetale scarsa, fattori socio-economici non ottimali individuano e caratterizzano un elevato grado vulnerabilità ambientale.

Nella *Comunicazione Nazionale alla Convenzione delle Nazioni Unite per la lotta contro la desertificazione nei Paesi gravemente colpiti dalla siccità e/o desertificazione (UNCCD)*, il concetto di **vulnerabilità** viene definito come *entità dei possibili danni ad un sistema provocati da un cambiamento;* essa viene fatta dipendere non solo dalla sensibilità del sistema, ma anche dalla sua capacità di adattamento alle nuove condizioni attraverso una modifica delle pratiche gestionali, dei processi e delle strutture.

Infine, Costantini *et al.* (2004) definiscono **area a rischio di sterilità funzionale** un territorio che è vulnerabile o sensibile ai processi di forte ed irreversibile degradazione del suolo. Una **terra sensibile**, pertanto, è una superficie in cui il processo che conduce alla desertificazione è attivo, anche se il suolo non ha

ancora sterilità funzionale. 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.

Accanto alle problematiche legate alla terminologia, il quadro concettuale è complicato anche dalla molteplicità degli approcci metodologici, soprattutto se applicati a scale di dettaglio territoriale più spinto, riguardanti difformità circa l'uso degli indicatori (e ancor prima sui fattori predisponenti il fenomeno) e dei metodi di aggregazione e costruzione degli indici sintetici (Ceccarelli *et al.* 2006). Ciò è spiegabile in parte dalla mancanza di riferimenti chiave e in parte dalle problematiche legate alla qualità ed alla disponibilità di dati sui cui fondare la misura (Rubio & Bochet 1998, Kosmas *et al.* 1999, Enne & Zucca 2000, Brandt *et al.* 2003).

Da tutto quanto premesso, si ritiene comunque utile riassumere in uno schema logico-concettuale le principali dimensioni del fenomeno, in accordo a quanto definito circa le cause (naturali ed antropiche) dei processi di desertificazione. In questo schema vengono riportati anche alcuni riferimenti concettuali *operativizzabili* tramite indicatori di sintesi (Figura 1.3).

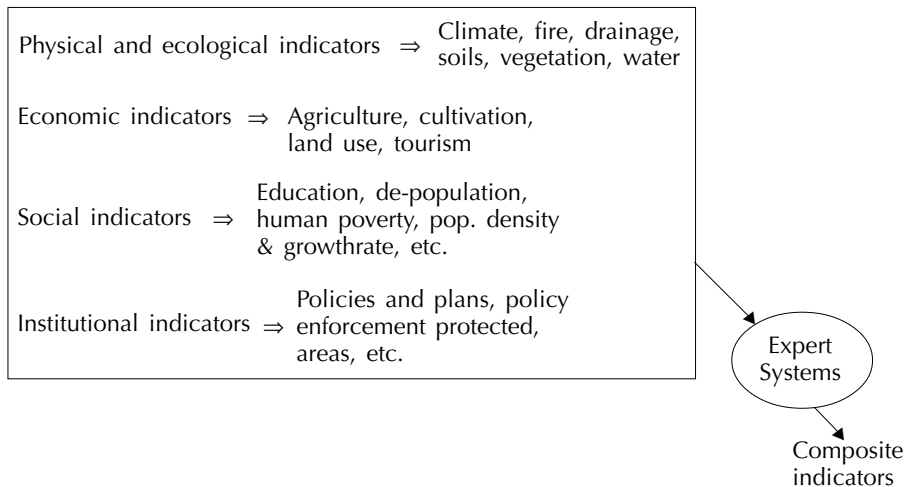


Figura 1.3 – Dimensioni concettuali e relativa operativizzazione del degrado delle terre

È doveroso, in ogni caso, rimarcare i riferimenti teorici e pratici ormai consolidati. Uno di essi è rappresentato dalla Convenzione delle Nazioni Unite per la lotta alla desertificazione (UNCCD) che ha stabilito il quadro entro il quale vengono realizzate una serie di iniziative e ricerche a livello sovra-nazionale, nazionale e locale.

Ad opera del suo “Committee on Science and Technology”, l’UNCCD ha lavorato anche sulla definizione di *benchmarks* e indicatori. Il quadro concettuale è stato poi sintetizzato, a livello italiano, nella “Comunicazione Nazionale per la lotta alla Siccità e alla Desertificazione” e concretizzato nella produzione di una mappa delle aree sensibili alla desertificazione in Italia a scala 1:250.000 (CNLD, 1999). In tale primo lavoro sono stati considerati i fattori clima (indice di aridità), suolo (indice pedoclimatico), vegetazione (cartografia Corine Land Cover) e pressione antropica (variazione demografica), ottenendo una classificazione del territorio nazionale in aree poco, mediamente o molto sensibili alla desertificazione.

Nell’ambito del Progetto di ricerca MEDALUS, infine, è stata messa a punto una nuova metodologia per l’identificazione delle aree sensibili al rischio di desertificazione (Environmentally Sensitive Areas, ESA), che rappresenta ad oggi uno standard di riferimento (e.g., Kosmas *et al.* 1999). Il modello ESA definisce un concetto di qualità ambientale rappresentato da diverse componenti: suolo, clima, vegetazione e gestione del territorio che permettono di ottenere, attraverso aggregazioni successive, l’indice finale (ESAI) che esprime il livello complessivo di sensibilità alla desertificazione.

## CAPITOLO 2

### L'APPROCCIO AL PROBLEMA E STATO DELL'ARTE

*Quae nocent docent  
(Ciò che nuoce insegna)*

ANONIMO

Si definisce *fenomeno* quel fatto o evento che può essere studiato e conosciuto attraverso l'osservazione e la rilevazione. In relazione al grado di difficoltà che comporta il riscontro empirico o la misura, spesso è necessario assumere più di una variabile rappresentativa che possa inquadrare il fenomeno nella sua pienezza. Importantissime, pertanto, risultano le fasi di misurazione e di classificazione del fenomeno stesso, nonché la corretta formulazione delle ipotesi di lavoro iniziali.

All'avvio di un'indagine scientifica, uno dei principali problemi da risolvere è proprio quello di riuscire a concettualizzare e strutturare il fenomeno in esame (*concetto*) al fine di poterlo scomporre in componenti più semplici (*variabili*) da utilizzare per formulare le interpretazioni ed effettuare le successive analisi (*operativizzazione*). L'individuazione delle variabili più appropriate a rappresentare il fenomeno è premessa essenziale che risulta tanto più valida quanto meglio riesce a fornire, attraverso successioni logiche, nuove e maggiori informazioni sul concetto da cui si è partiti.

Un *indicatore* può essere inteso come la traduzione in termini statistici della variabile cui viene associato. A seconda dei casi, esso può essere rappresentato da una procedura di classificazione, di ordinamento, di conteggio, oppure di misura. La scelta dell'indicatore dipende dalla capacità che gli si riconosce di spiegare (più o meno direttamente, *in toto* o in parte) il fenomeno in esame. È necessario sottolineare quanto sia delicata anche questa fase e quanto sia difficoltoso applicare definizioni operative univoche. Le connessioni logiche fra il fenomeno e un suo indicatore, infatti, non sempre appaiono perfettamente chiare o universalmente condivise. Spesso, l'esigenza di dare completezza alla ricerca, la disponibilità di certe informazioni e non di altre, talora anche la "sensibilità scientifica" del ricercatore, possono orientare verso la scelta di indicatori apparentemente distanti dal fenomeno. Nel caso specifico del *degrado dei suoli*, la molteplicità e la diversità di cause è tale da richiedere un insieme rilevante di indicatori, molti dei quali, non reperibili da fonti informative dirette, sono desunti dalle statistiche ufficiali riguardanti, ad esempio, la percentuale di aree protette, il livello di inquinamento, le industrie a rischio e molti altri ancora.

Gli *indicatori* utilizzati per studiare la desertificazione sono strumenti potenzialmente utili sia per il monitoraggio che per la gestione dei fenomeni legati ai processi di degrado delle terre. Le esperienze maturate nel settore, soprattutto nell'ultimo decennio, hanno contribuito ad una migliore conoscenza dei fenomeni e dei metodi diagnostici alle diverse scale di indagine.

Per quanto riguarda l'elaborazione degli indicatori e degli indici climatici, esiste un'ampia varietà di variabili fra le quali, le più utilizzate, risultano le precipitazioni medie annue, l'evapotraspirazione di riferimento ( $Et_0$ ) e l'esposizione dei versanti (Figura 2.1).

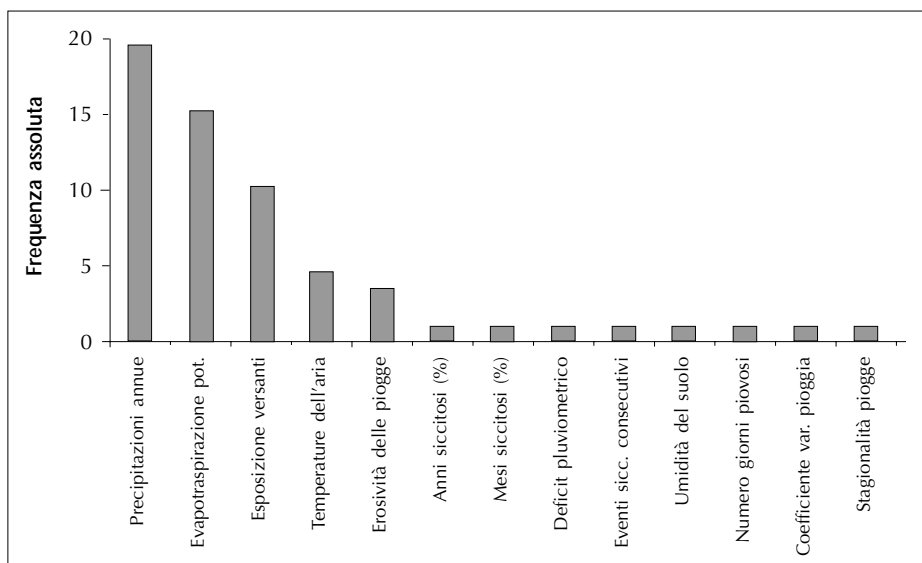


Figura 2.1 – Indicatori climatici utilizzati in Italia per la stima dei fenomeni di desertificazione (frequenza assoluta) (Ceccarelli *et al.* 2006)

Uno degli aspetti di maggiore rilevanza è riferibile indubbiamente alla qualità specifica del dato. Altri aspetti importanti, da non trascurare, riguardano la densità e l'omogeneità di copertura territoriale offerta dalle reti di monitoraggio meteorologico. La problematica si lega alla questione più generale della *significatività e rappresentatività* territoriale di ciascuna stazione di rilevamento e, per quanto concerne peculiarmente il nostro Paese, alla coesistenza e sovrapposizione di numerosi Enti e Servizi meteorologici (nazionali, regionali, provinciali, etc.), ciascuno con propri protocolli e formati di acquisizione e di archiviazione dei dati, ciascuno deputato a finalità particolari (e.g., navigazione aerea o marittima, agricoltura, idrometria, prevenzione incendi, produzione di energia, protezione civile, turismo, etc.), ciascuno con una propria politica di divulgazione e cessione delle informazioni. Altri aspetti critici nel calcolo degli

indicatori climatici si ravvisano nel momento in cui non risultano disponibili tutti i dati di base necessari. In questo caso, il ricorso ad algoritmi alternativi, che richiedono variabili di input in numero inferiore e/o con una migliore disponibilità (ad esempio la formula di Hargreaves-Samani rispetto a quella di Penman-Monteith per quanto riguarda la stima dell'evapotraspirazione di riferimento), può inficiare il raffronto spaziale (o temporale) a causa della diversa approssimazione e della disomogeneità dei risultati ottenuti con metodi differenti (Ceccarelli 2006).

La variabili elementari riferite al suolo sono anch'esse numerose ma le più utilizzate sono la pendenza, la profondità del suolo, la tessitura, la roccia madre, la pietrosità ed il drenaggio che sono, peraltro, le variabili previste dalla metodologia MEDALUS. La fonte principale delle variabili pedologiche risulta essere rappresentata dalle carte regionali, anche se viene rilevato un elevato numero di elaborati nei quali non è stata riportata chiaramente l'indicazione delle fonti (Figura 2.2).

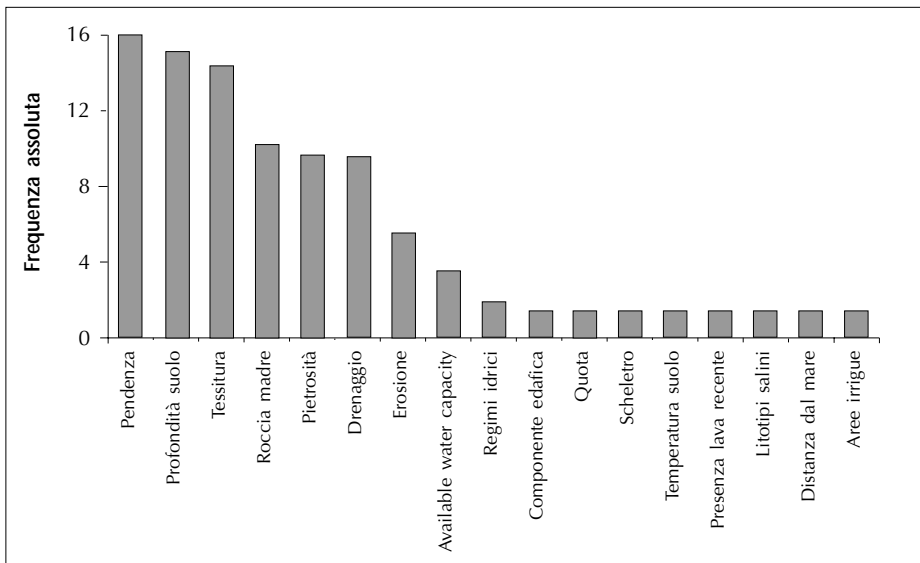


Figura 2.2 – Indicatori pedologici utilizzati in Italia per la stima dei fenomeni di desertificazione (frequenza assoluta). Fonte: nostre elaborazioni su dati CRA-CMA/APAT (Ceccarelli *et al.* 2006)

Tra le variabili elementari riferite alla vegetazione, la copertura vegetale è l'indicatore più frequentemente elaborato (Figura 2.3) ed è ottenibile dalla carta CORINE Land Cover o da dati telerilevati. Anch'esso fa parte del set di indicatori previsti dalla metodologia MEDALUS ma rappresenta, altresì, l'indicatore vegetazionale più comunemente utilizzato anche nell'ambito delle altre metodologie.

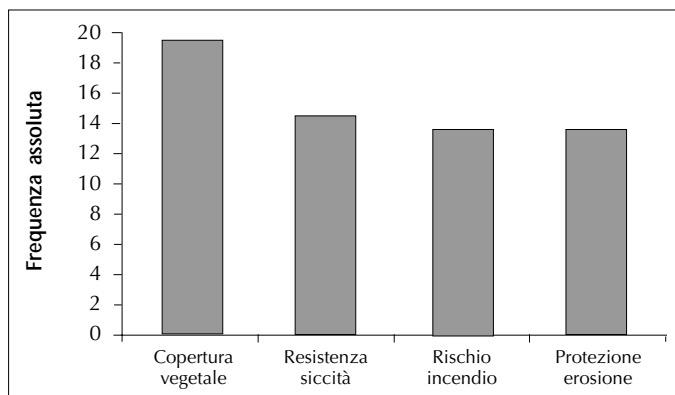


Figura 2.3 – Indicatori vegetazionali utilizzati in Italia per la stima dei fenomeni di desertificazione (frequenza assoluta). Fonte: nostre elaborazioni su dati CRA-CMA/APAT (Ceccarelli *et al.* 2006)

In figura 2.4 vengono mostrati gli indicatori relativi alle attività antropiche che sono stati utilizzati nelle varie pregresse attività di ricerca. Come si può osservare, tali indicatori sono numerosi e fra questi spiccano l'intensità d'uso del suolo e le politiche di gestione le cui fonti più diffusamente utilizzate sono la cartografia CORINE Land Cover ed i database dei Censimenti Generali dell'ISTAT.

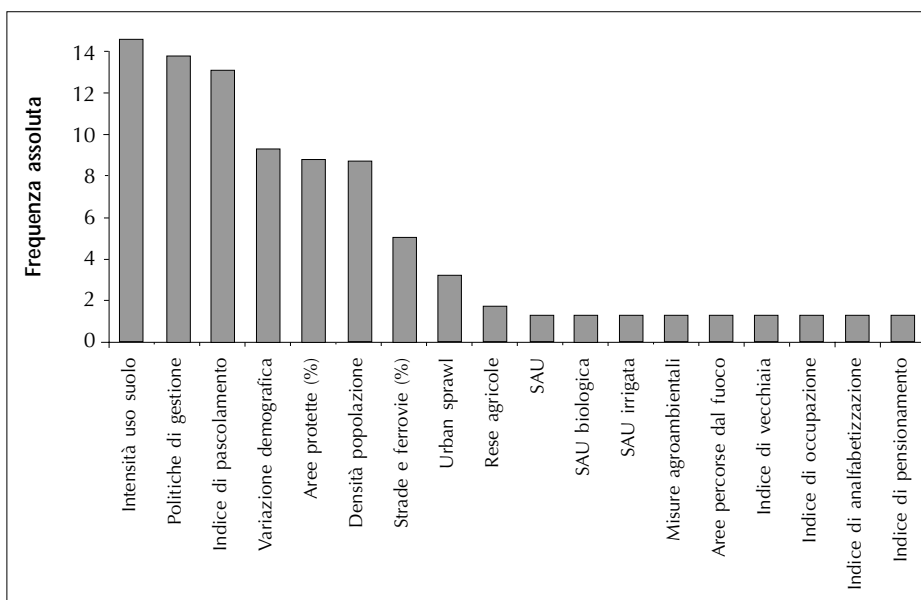


Figura 2.4 – Indicatori di pressione antropica utilizzati in Italia per la stima dei fenomeni di desertificazione (frequenza assoluta). Fonte: nostre elaborazioni su dati CRA-CMA/APAT (Ceccarelli *et al.* 2006)



## 2.1 GLI INDICI SINTETICI

Un ulteriore ed importante aspetto della ricerca empirica riguarda la scelta delle unità di analisi, ovvero degli *aggregati* di natura territoriale e temporale. Per *aggregato spaziale* s'intende un'unità geografica di riferimento che viene in genere a coincidere con i limiti amministrativi (e.g., regione, provincia, comune) o fisiografici (e.g., bacino idrico, regione agraria, ecc.) di un determinato dominio spaziale. La scelta del tipo di aggregato dipende sostanzialmente dalla disponibilità (in termini di numerosità e densità territoriale) dei dati di base e dalla congruità della scala geografica adottata con gli obiettivi dello studio. Lo spopolamento dello spazio rurale, ad esempio, può essere ottimamente analizzato a livello comunale attraverso indicatori socio-demografici ed economici, quali la densità di popolazione, la variazione nell'entità della popolazione, la superficie agricola utilizzata, il numero di aziende agricole. La scelta della scala geografica comunale, oltre a fornire un soddisfacente dettaglio territoriale, comporta anche il vantaggio di poter ricavare tutti gli indicatori associati al fenomeno dalle fonti censuarie ufficiali (Censimenti Generali della Popolazione e dell'Agricoltura). In questo contesto, l'aggregazione avviene a partire da dati elementari riguardanti unità di rilevazione individuali o familiari che, attraverso procedure algebriche (medie, percentuali), vengono ricondotte ai domini spaziali di studio.

L'*aggregato temporale* è un elemento di analisi comune a numerosi campi di ricerca, dalla demografia alle discipline economiche, a quelle ambientali. Tale diffusione è stata favorita anche dal recupero e dalla validazione di numerose serie storiche rilevate, sia attraverso fonti censuarie, sia tramite indagini campionarie a cadenza annuale o comunque periodica.

“Sensibilità”, “vulnerabilità” e “rischio” alla desertificazione, come già commentato nel capitolo precedente, vengono attualmente valutati attraverso modelli interpretativi e metodologie abbastanza consolidati che hanno dato origine a svariate applicazioni in diversi contesti geografici e per scale di analisi diverse.

Con riferimento alla scala nazionale, i lavori finora realizzati si sono basati su tre metodologie di stima dell'indice sintetico: il primo definito secondo i criteri indicati dal CNLD (1999), un secondo avente come riferimento il framework MEDALUS/ESA ed un terzo messo a punto più recentemente nell'ambito del Progetto Finalizzato CLIMAGRI (Salvati *et al.* 2005). Il confronto tra i diversi modelli consente di spiegare eventuali discrepanze nei risultati ottenibili alla luce delle convergenze/divergenze metodologiche e delle informazioni di base utilizzate.

Per quanto attiene più specificamente alla stima della vulnerabilità alla desertificazione, la metodologia, come già detto, si avvale di modelli interpretativi abbastanza consolidati che si fondano su un certo numero di esperienze applicate a contesti geografici e scale di analisi diverse (cfr. Salvati *et al.* 2005, Ceccarelli *et al.* 2006). Il riferimento principale, come già detto, è costituito

dalla *Convention to Combat Desertification delle Nazioni Unite* (UNCCD). Tale Convenzione stabilisce il quadro entro il quale vengono realizzate una serie di iniziative e di ricerche a livello sovra-nazionale, nazionale e locale sulla base di strategie comuni finalizzate a sviluppare tecniche di monitoraggio e programmi di azione che coinvolgano gli *stakeholders* locali. Ad opera del suo "Committee on Science and Technology", la UNCCD ha lavorato anche sulla definizione di *benchmarks* e indicatori (<http://www.unccd.int/>).

Le diverse procedure finora sviluppate considerano, fra i fattori predisposti i processi di degrado dei suoli e/o di desertificazione, sia quelli di natura bio-geofisica, sia quelli legati all'antropizzazione e alla gestione del territorio. Questa seconda dimensione, nella maggioranza degli studi cartografici e statistici, non ha ricevuto, in genere, lo stesso grado di sistematizzazione della prima. Fra gli indicatori inclusi nella descrizione della dimensione *gestione del territorio*, vengono utilizzati, ad esempio, indici di intensità di uso del suolo e del livello di protezione e, meno frequentemente, indici relativi alla struttura e alla dinamica della popolazione (Montanarella 2001, Giordano *et al.* 2002, DISMED 2003, Motroni *et al.* 2004). Più a margine, le dinamiche sociali vengono occasionalmente considerate nella rappresentazione dei fenomeni di antropizzazione (Basso *et al.* 1999).

Inoltre, pur riconoscendo l'importanza dell'impatto delle pratiche agricole, dell'assetto dello spazio rurale e della pressione antropica sui fenomeni di desertificazione, ad oggi nessun contributo ha suggerito un indicatore strutturato in grado di descrivere estesamente i fattori di pressione dell'agricoltura.

## 2.2 LA METODOLOGIA CNLD

Nel 1999 l'allora Comitato Nazionale per la Lotta alla Desertificazione (CNLD) promosse la realizzazione di una prima cartografia delle "aree vulnerabili al degrado del territorio" e "sensibili al fenomeno della desertificazione". Fu prodotta in questo contesto una "carta preliminare delle aree sensibili alla desertificazione" (CNLD, 1999) dell'intero territorio nazionale in scala 1:250.000. Allo scopo di identificare le "aree sensibili alla desertificazione", la metodologia adottata individuò i seguenti fattori ed i relativi tematismi di riferimento (indicati tra parentesi):

Clima (indice di aridità): *fattore "a"*

Caratteristiche del suolo (indice pedoclimatico): *fattore "b"*

Uso del suolo (Corine Land Cover): *fattore "c"*

Pressione antropica (variazione demografica fra il 1981 ed il 1991): *fattore "d"*

Sulla base dell'analisi effettuata il territorio nazionale fu suddiviso in aree "poco", "mediamente" e "molto sensibili" al fenomeno della desertificazione. Per

quanto concerne le caratteristiche del suolo (fattore “b”) furono selezionate “classi di regime idrico” con grado crescente di predisposizione alla desertificazione:

- $b_1$  alta predisposizione: regime xerico-torrico;
- $b_2$  media predisposizione: regime serico;
- $b_3$  bassa predisposizione: regime udico;

Per l’uso del suolo (fattore “c”) furono utilizzate le coperture del Corine Land Cover riclassificate in tre classi per indicare una diversa predisposizione al fenomeno della desertificazione:

- $c_1$  alta predisposizione: comprende vegetazione rada ed aree percorse da incendi (codifica Corine 333 e 334);
- $c_2$  media predisposizione: tutte le altre classi del Corine;
- $c_3$  bassa predisposizione: corpi idrici, centri abitati, zone industriali (codifiche Corine: 111,112,121,122,123,124 e 511,512,521,522,523).

Per la pressione antropica (fattore “d”), fu utilizzata la variazione demografica calcolata in base ai censimenti ISTAT (variazioni 1981-1991 e 1991-2001). Il dato fu riclassificato in modo da ottenere tre livelli di predisposizione:

- $d_1$  alta predisposizione:  $> 40\%$ ;
- $d_2$  media predisposizione:  $20-40\%$ ;
- $d_3$  bassa predisposizione:  $< 20\%$ ;

Nel metodo CNLD, pertanto, sono considerate “aree sensibili” quelle con indice di aridità compreso tra 0,5 e 0,65 (sub-umide secche) e con indice compreso tra 0,20 e  $< 0,50$  (semi-aride), e che presentassero inoltre valori della classe a predisposizione “alta” o “media” per almeno uno dei tre fattori aggiuntivi (b, c oppure d). Come illustrato in figura 2.5, un’area è considerata come “sensibile” se:  $IA \leq 0,65$  e ( $b = b_1$ , oppure  $c = c_1$ , oppure  $d = d_1$ ). Le “aree sensibili” vengono quindi riclassificate in “molto”, “mediamente” e “poco” sensibili ai fenomeni di desertificazione in base al numero e al livello dei fattori predisponenti.

### 2.3 LA METODOLOGIA MEDALUS/ESA

La metodologia MEDALUS/ESA viene frequentemente utilizzata nell’analisi del rischio di desertificazione e rappresenta ormai uno standard di riferimento. Alla base di tale metodologia vi è una definizione di sensibilità alla desertificazione che è, a sua volta, il risultato di un giudizio di qualità legato a quattro

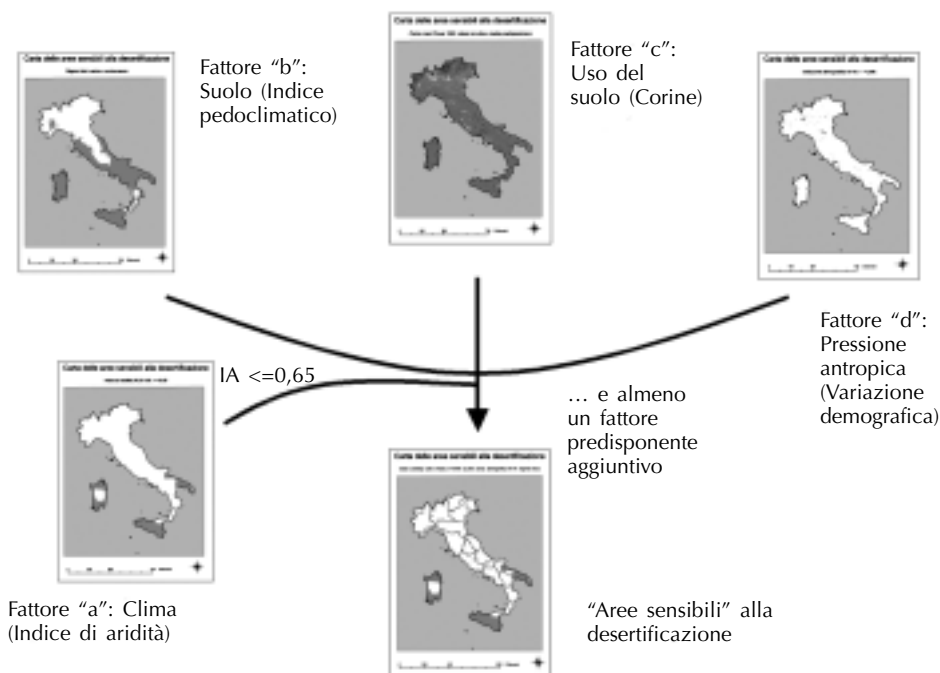


Figura 2.5 – Procedura per l'identificazione delle aree sensibili

fattori principali: suolo, clima, vegetazione e gestione del territorio. Per ogni fattore sono identificate le variabili ritenute più significative (Figura 2.6). Ad esempio, per quanto riguarda la qualità climatica, le variabili generalmente considerate comprendono piovogge medie, aridità, esposizione dei versanti.

Ogni variabile viene suddivisa in classi di crescente predisposizione al rischio di desertificazione e ad ogni classe viene assegnato un peso o punteggio espresso in una scala omogenea, generalmente compresa fra 1 (predisposizione più bassa) e 2 (predisposizione più alta). La suddivisione in classi e l'assegnazione dei pesi vengono generalmente fornite da un *panel* di esperti negli ambiti disciplinari interessati. Viene quindi calcolata la media geometrica tra le variabili preventivamente classificate e pesate. Così facendo si ottiene un indice specifico per ogni fattore considerato:

Indice di qualità del suolo/Soil Quality Index (SQI)

Indice di qualità del clima/Climate Quality Index (CQI)

Indice di qualità della vegetazione/ Vegetation Quality Index (VQI)

Indice di qualità di gestione del territorio/Management Quality Index (MQI)

L'insieme degli indici viene a sua volta sintetizzato per ottenere un indice

complessivo detto ESAI (Environmentally Sensitive Area Index). Tale indice si ottiene, analogamente a quanto visto per i singoli indici di qualità ambientale, calcolando la media geometrica degli stessi. Questi hanno lo stesso peso nella determinazione dell'indice sintetico. La relazione è la seguente:

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

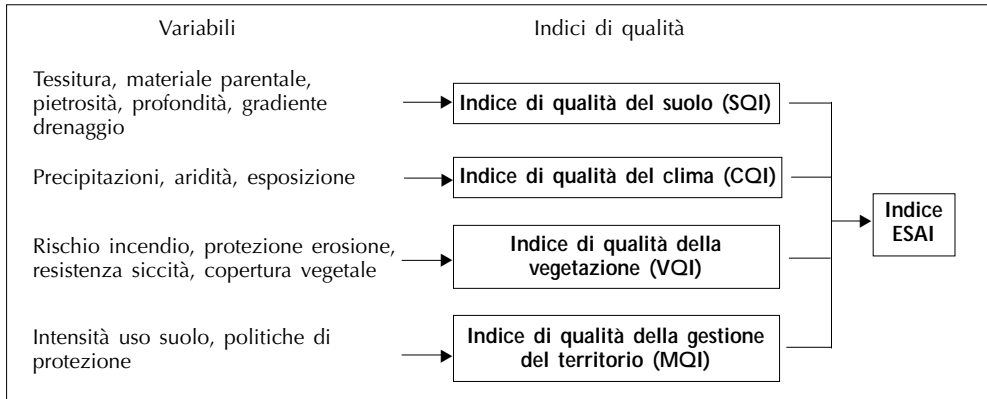


Figura 2.6 – Schema di applicazione del modello ESA

La figura 2.6 mostra lo schema generale di applicazione del modello ESA, con l'indicazione delle variabili più frequentemente usate, i diversi indici di qualità e l'ESAI. La procedura viene quindi implementata con operazioni cartografiche il cui schema è rappresentato graficamente in figura 2.7.

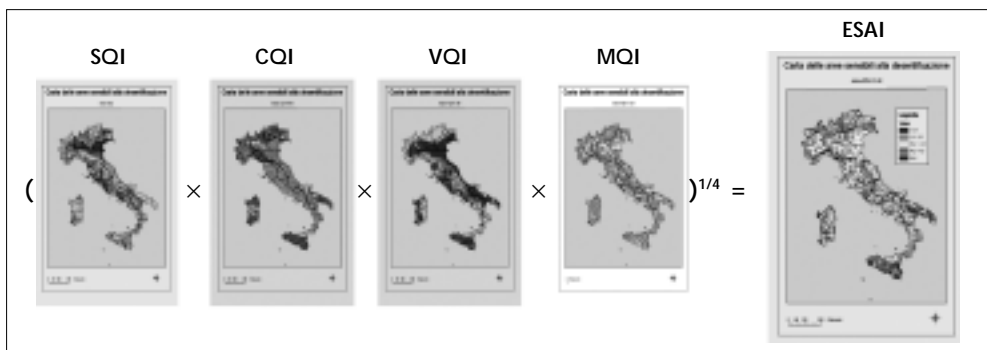


Figura 2.7 - Calcolo dell'ESAI

## 2.4 – LA PROCEDURA CRA-CMA<sup>1</sup> E L'INDICE LVI (LAND VULNERABILITY INDEX)

Il Progetto Finalizzato “*CLIMAGRI – Agricoltura e Cambiamenti Climatici*”, conclusosi nel 2005, ha avuto fra i suoi obiettivi anche quello di valutare la sensibilità alla desertificazione con particolare riferimento ai sistemi agricoli ed alla riduzione del loro potenziale produttivo. Per perseguire i suoi obiettivi, la ricerca ha seguito due direttrici: la prima è stata quella di rielaborare indici e cartografie prodotte con la metodologia CNLD, alla luce delle finalità specifiche della ricerca e di nuove informazioni disponibili; la seconda, quella di adottare il *framework* DPSIR e la metodologia ESA nella valutazione dei processi di desertificazione identificando i vari elementi interessati ed elaborando un indice sintetico di “sensibilità” alla desertificazione inteso, soprattutto, quale espressione della riduzione del potenziale produttivo agricolo.

Più recentemente, il CRA-CMA ha sviluppato una propria originale metodologia che prevede di valutare *oggettivamente* l'importanza assunta dalle diverse variabili utilizzate nel calcolo di un indice sintetico di sensibilità alla desertificazione. La procedura si avvale di tecniche di analisi statistica multivariata (analisi delle componenti principali) che consente di assegnare il peso da attribuire a ciascuna delle variabili ritenute responsabili dei processi di desertificazione e di escludere le variabili ridondanti.

Nell'approccio del CRA-CMA viene inizialmente considerato un numero relativamente molto ampio di variabili. Nella scelta delle variabili, ovviamente tutte riconducibili ai processi di desertificazione, viene comunque usato un criterio che s'ispira al modello DPSIR, a quanto definito dal CNLD e alle esperienze pregresse di applicazione dell'ESA di cui esiste documentazione (Salvati et al. 2005). Le variabili sono rappresentate in forma cartografica e trasformate linearmente in una scala 0-1 in modo da poter essere omogeneamente confrontate e pesate secondo la loro importanza relativa; infine, sulla base di quanto emerso dall'analisi statistica, esse sono sommate tramite operazioni GIS. In ogni punto del territorio oggetto di studio è così possibile ottenere un indice sintetico che è stato chiamato LVI (Land Vulnerability Index). Le variabili selezionate sono sinteticamente mostrate nella Tabella 2.1 assieme alla serie storiche disponibili, all'intervallo dei valori riscontrati ed ai valori di normalizzazione proposti.

Un confronto diretto è stato sviluppato solo fra metodologia ESA e metodologia CRA-CMA, in quanto la sensibilità ottenuta con il metodo sviluppato dal CNLD è misurata a livello ordinale e non è quindi direttamente raffrontabile con gli altri indici sintetici. Anche il confronto cartografico mette in evidenza una sostanziale similarità nelle stime di vulnerabilità ottenute dalle due metodologie quantitative anche se, in vari ambiti territoriali, si evidenziano difformità dovute al differente trattamento delle variabili e all'importanza di alcuni fattori specifici a scala locale.

Tabella 2.1 – La procedura CRA-CMA: variabili, serie storiche, intervallo dei valori

Variabile/strato	Unità di misura tematico	Serie storiche [24]		Intervallo dei valori e loro trasformazione
<b>Clima</b>				
1. Piogge medie	mm	1961-1990	1971-2000	410 (1) – 1650 (0)
2. Variabilità pioggia	CV (%)			11 (0) – 38 (1)
3. Concentrazione piogge	mm/mm			0,3 (1) – 1 (0) <i>oppure</i> 1 (0) – 2,2 (1)
4. Giorni piovosi	Numero giorni			67 (1) – 139 (0)
5. Aridità	mm/mm			0,4 (1) – 3,9 (0)
6. Umidità suolo (US)	numero giorni/anno con < 20 mm			0 (0) – 245 (1)
<b>Suolo</b>				
7. AWC	mm	1990		19 (1) – 294 (0)
8. Tessitura	Classi tessiturali	1990		Vedi descrizione singole classi (Tabella 3)
9. Profondità	mm	1990		200 (1) – 1100 (0)
10. Carbonio organico	%	1990		0.18 (1) – 6.9 (0)
<b>Erosione</b>				
11. Erosione effettiva (actual soil loss)	tonn/ha/anno	1990		0 (0) – 100 (1)
<b>Copertura del suolo e vegetazione</b>				
12. Resistenza a siccità e incendi	Classi Corine e Lacoast	1990	2000	[24]
<b>Popolazione e impatto antropico</b>				
13. Densità demografica	Ab./km <sup>2</sup>	1991	2001	10 (0) – 8100 (1)
14. Variazione demografica	%	1981-1991	1991-2001	-50% (1) – 0% (0) <i>oppure</i> 0% (0) – 144% (1)
15. Intensità uso suolo	Classi Corine e Lacoast	1990	2000	[24]





## CAPITOLO 3

### LA STIMA DELLA VULNERABILITÀ AMBIENTALE ALLA DESERTIFICAZIONE

*Felix qui potuit rerum cognoscere causas  
(Felice colui a cui fu dato conoscere le cause delle cose)*

VIRGILIO

Nel campo delle scienze ambientali, il poter disporre di una base informativa adeguata, in termini di coerenza e rigore nell'individuazione, definizione e valutazione degli aggregati rilevanti (sia spaziali che temporali), rappresenta un prerequisito essenziale per l'applicazione dei modelli di valutazione. Anche per la stima della vulnerabilità ambientale, tale condizione si ottiene attraverso l'affidabilità e la scrupolosità delle procedure di rilevazione dei dati di base. Un altro aspetto importante afferisce ai concetti e agli indicatori cui fa capo, nel caso specifico, il principio dello *“sviluppo sostenibile”* inteso come *“lo sviluppo che è in grado di soddisfare i bisogni della generazione presente, senza compromettere la possibilità che le generazioni future riescano a soddisfare i propri”* (Brundtland, 1987).

Il concetto di sostenibilità, legato in linea diretta al flusso economico di reddito tra generazioni, si allarga, quindi, fino ad abbracciare il mantenimento della qualità e quantità del patrimonio naturale, ovvero di quel complesso di beni la cui esistenza, produzione e riproduzione, pur se dovute primariamente all'attività della natura, possono essere alterate dall'intervento dell'uomo. I meccanismi attraverso i quali le attività umane interagiscono con l'ambiente possono essere opportunamente inquadrati e schematizzati in un modello logico di interrelazioni. Un tipico esempio è dato dal modello proposto dall'Agazia Europea per l'Ambiente noto con l'acronimo DPSIR (Driving Forces, Pressures, State, Impacts, Responses).

#### 3.1 IL MODELLO DPSIR

Nella sua formulazione originaria il modello DPSIR presuppone un concatenamento causale in cui le *Forze Determinanti* generano *Pressioni* che, modificando lo *Stato* dell'ambiente producono *Impatti* negativi sulle condizioni di vita. Il sistema reagisce attraverso *Risposte* correttive dirette verso tutti gli elementi della sequenza. Un primo modello, denominato *“Pressione-Stato-Risposta – PSR”*, sviluppato dall'Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD), è stato inizialmente applicato in diversi studi interna-

zionali e nazionali, consentendo di mettere in evidenza la sequenza causale tra pressioni antropiche, impatti sull'ambiente e risposte atte a mitigare gli stessi impatti (OECD, 1994).

Successivamente, implementato come *framework* “Determinanti, Pressioni, Stato, Impatti e Risposte”, il modello DPSIR è divenuto il quadro di riferimento dell’Agenzia Ambientale Europea (EEA) per il *reporting* di tutte le problematiche di carattere ambientale (EEA 1995). DPSIR viene diffusamente adottato come modello interpretativo per un gran numero di processi ambientali (e.g., ANPA 2000) compresa la desertificazione (e.g., Gentile 1999). L’approccio generale prevede alcuni elementi comuni:

- Le componenti “**Driver**” (o “**driving forces**”) sono i fattori di traino che determinano le problematiche ambientali. Si tratta di attività riferibili in genere all’azione dell’uomo; fra le *driving forces* si annoverano, ad esempio, la crescita demografica e lo sviluppo di attività quali l’agricoltura, il turismo e l’industria. Nei processi di degrado delle terre può essere considerato fattore determinante anche il cambiamento climatico sulla cui genesi, tuttavia, si riconosce una certa responsabilità umana.
- Le componenti “**Pressioni**”, “**Stato**”, “**Impatti**” rappresentano il comportamento dei sistemi ambientali (naturali e non) con tutte le interazioni oggi conosciute. Le componenti di pressione sono gli effetti diretti e misurabili dell’azione delle *driving forces* (e.g., emissione di sostanze inquinanti, urbanizzazione, deforestazione). Le componenti di stato sono le variabili che, misurando la qualità del territorio in senso lato, delineano le condizioni in cui esso versa. Gli impatti sono gli effetti ultimi dell’azione delle *driving forces* sul territorio, che rendono esplicite le relazioni causa-effetto tra pressioni, stato ed impatti medesimi (e.g., riduzione delle superfici coltivabili, perdita di biodiversità).
- Le componenti di “**Risposta**” sono azioni, sempre riferibili ad interventi dell’uomo, quali politiche o misure di contrasto diretto o indiretto a fenomeni di degrado ambientale (e.g., la politica agricola comune, le convenzioni sulla desertificazione, etc.).

In teoria, il modello DPSIR vuole mettere in evidenza le connessioni causa-effetto proprie di una data problematica ambientale, valutando, in modo dinamico, l’impatto delle *driving forces* sui sistemi ambientali in funzione della loro sensibilità e capacità di adattamento e risposta. DPSIR rappresenta, pertanto, un riferimento interpretativo ma non una metodologia in senso stretto per la messa a punto di indici e procedure di valutazione.

Il lavoro di ricerca sviluppato in questo progetto ha individuato, fra i suoi obiettivi, la valutazione della vulnerabilità del territorio italiano alla desertificazione, intesa nella accezione già formulata dalla UNCCD (cfr. Cap. 1). Il concetto di degrado è stato quindi inteso in termini di riduzione del potenziale

produttivo dei suoli, in particolare per quello che riguarda i sistemi agricoli, per effetto di un deterioramento delle caratteristiche ambientali.

La ricerca punta a fornire un'interpretazione ed una valutazione dei processi di degrado delle terre attraverso un'indagine riguardante tutto il territorio italiano su un arco di tempo di quarant'anni (1961-2000). Al fine di fornire una stima dell'evoluzione temporale del fenomeno, lo studio ha previsto lo sdoppiamento delle analisi su due sub-periodi contigui di trenta anni ciascuno (1961-1990 e 1971-2000). Per perseguire i suoi obiettivi, infine, la ricerca ha adottato lo schema DPSIR identificando le variabili ritenute cruciali nel modello di stima ed elaborando un indice sintetico di vulnerabilità alla desertificazione.

L'applicazione del modello DPSIR allo studio dei processi di degrado delle terre e di desertificazione implica, in primo luogo, l'identificazione degli elementi costitutivi del modello e, successivamente, la messa a punto della procedura per combinare fra loro gli indicatori e derivare l'indice finale di sintesi. Fra gli elementi costitutivi si annoverano le *driving forces*, o fattori di traino, intesi come cambiamenti che tendono a favorire un peggioramento strutturale delle condizioni ecologiche. Particolare attenzione viene riservata a quelle in grado di influenzare maggiormente gli ecosistemi (e gli agro-ecosistemi), nonché a determinare un uso non sostenibile del territorio. Considerate le finalità del lavoro, si è puntata particolarmente l'attenzione sugli aspetti climatici e pedologici che rappresentano l'asse portante della maggior parte degli studi più recenti sul rischio di desertificazione a livello nazionale. Sono stati tenuti in adeguata considerazione anche i processi di intensificazione delle attività agricole e di antropizzazione (Figura 3.1).

Le principali cause di degrado delle terre intervengono su specifiche variabili misurabili che vengono definite di *pressione ambientale*. Fra queste vanno annoverate le condizioni strutturali di aridità climatica e quelle congiunturali di siccità (umidità del suolo, caratteristiche dei periodi secchi etc., e.g. Salvati *et*

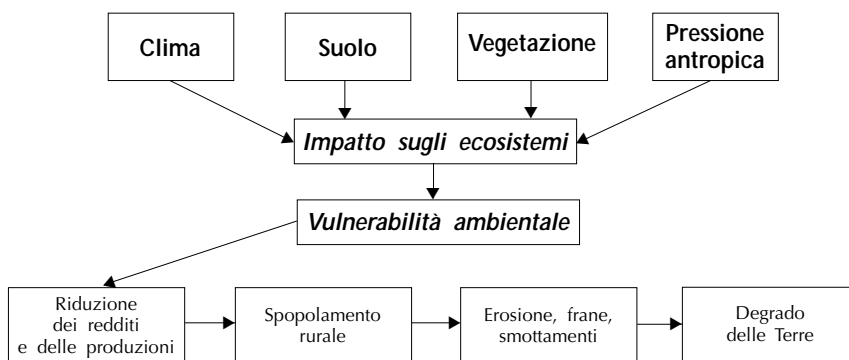


Figura 3.1 – Principali nessi causali che incidono sulla sensibilità degli agro-ecosistemi ai processi di degrado delle terre

al. 2004). Fra le cause che determinano un uso non sostenibile del territorio individuato, ad esempio, il livello di intensificazione agricola (espressa in termini di classi di uso del suolo maggiormente predisponenti ai fenomeni di degrado), nonché la densità di popolazione e la variazione demografica.

Attraverso la misurazione delle variabili di *stato* viene valutata la qualità di un territorio nel suo insieme e l'effetto che su di essa causano le pressioni ambientali. Esempi di variabili di stato e di indici tematici con particolare riferimento a quelli considerati in questa ricerca, sono riportati nella figura 3.2.

Gli *impatti* (dovuti ai processi di degrado delle terre) di maggior interesse per questo lavoro, sono quelli che determinano una riduzione del potenziale produttivo agricolo. Questi impatti si possono esprimere come perdita di superficie coltivabile per processi di degrado irreversibili, diminuzione delle rese delle colture agrarie imputabile ad un aumentato stress idrico o a processi di degrado di altra natura, comunque reversibili (ad es. salinizzazione), aumento nei costi di gestione dovuti alla attuazione di misure di compensazione dei processi sopra descritti, quali, fra gli altri, irrigazione e controllo della salinizzazione.

Le *risposte*, infine, includono politiche e misure di contrasto diretto o indiretto alla desertificazione e al degrado del territorio (ad esempio la politica agricola comune, le convenzioni sulla desertificazione, etc.). Applicando il modello DPSIR è quindi possibile ipotizzare le principali connessioni causa-effetto che determinano i processi di degrado (cfr. Figura 3.2). Questo aiuta nella scelta delle variabili che meglio esprimeranno, in forma di indice sintetico, il grado di vulnerabilità ambientale di un certo territorio.

### 3.2 - I SISTEMI DI DEGRADO DELLE TERRE

La scelta del modello interpretativo per valutare i fenomeni di degrado delle terre si è avvalsa in questo lavoro di una indagine preliminare condotta sulle esperienze metodologiche e cartografiche realizzate a livello nazionale ed internazionale (cfr. Ceccarelli *et al.* 2006). Se, da una parte, gli approcci sperimentali sul tema risultano abbondanti e assai ben documentati, non sembra sia stata ancora raggiunta un'adeguata comprensione delle cause, degli effetti e dei processi. Come già accennato nei precedenti capitoli, in molti casi vi è addirittura disaccordo sull'uso di alcuni set di indicatori e, più in generale, risulta talvolta arduo riconoscere e quantificare i processi dovuti a cause antropiche e naturali. Infine, nonostante la lucida interpretazione dei fenomeni ambientali a partire dal modello DPSIR, dal punto di vista degli indicatori, molti di essi possono essere considerati al tempo stesso come determinanti, pressioni o impatti. In taluni casi, anche le risposte non possono che essere quantificate in modo impreciso.

Partendo dai presupposti espressi nei capitoli precedenti riguardo alla defi-

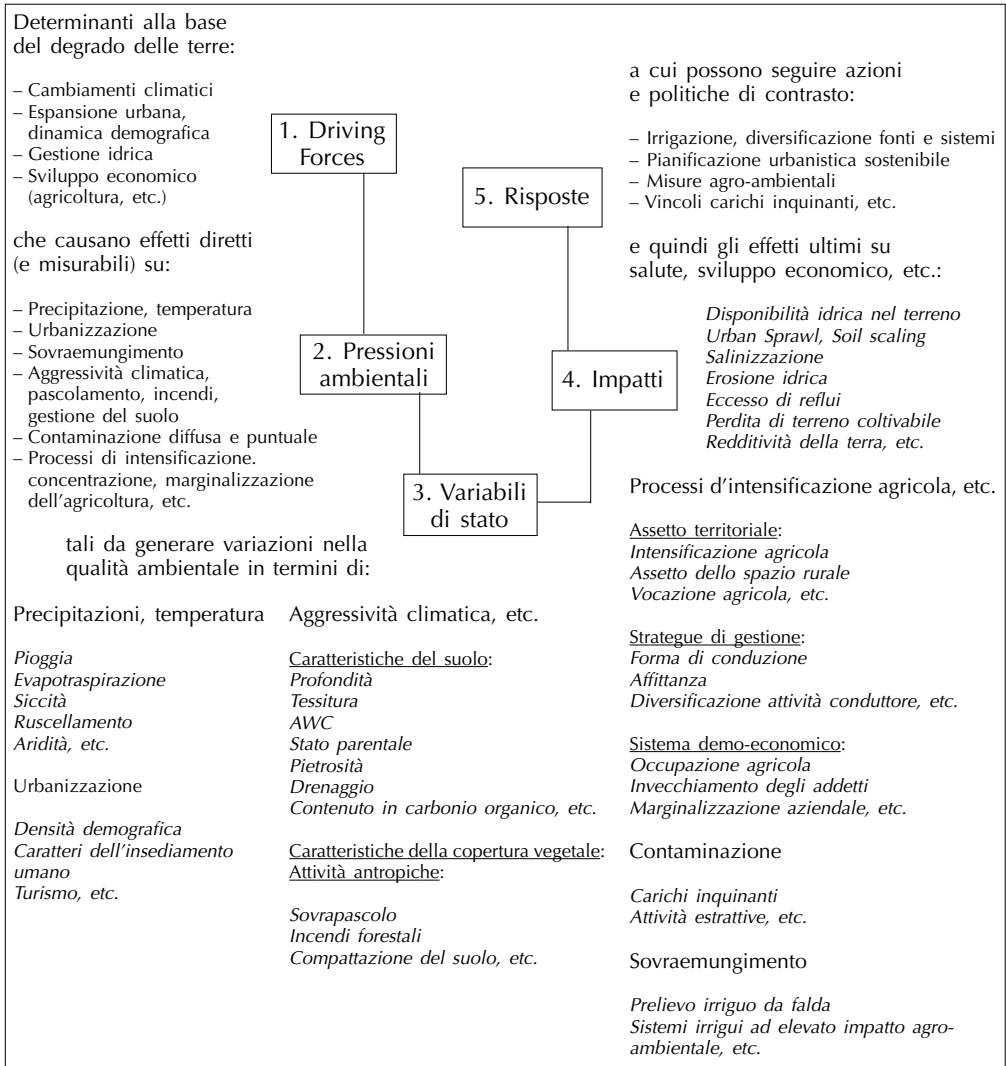


Figura 3.2 – Una proposta di schema logico relativo al fenomeno della desertificazione secondo il modello DPSIR

nizione di desertificazione, degrado dei suoli e vulnerabilità ambientale, l'applicazione dello schema DPSIR è stata abbinata ad una serie di sistemi di degradazione delle terre, fra di loro interagenti, interpretati separatamente secondo la stessa filosofia DPSIR e così individuati:

- cambiamenti climatici;
- urbanizzazione/sigillamento;
- salinizzazione;
- erosione;
- inquinamento;
- agricoltura.

Come nell'approccio utilizzato nell'Atlante Nazionale delle aree a rischio di desertificazione (Costantini *et al.*, 2007), sono stati inclusi i sistemi di degrado per inquinamento e quelli attribuibili all'attività agricola (relativamente a quanto non già considerato negli altri sistemi di degrado). Viceversa, non è stato considerato il sistema di degradazione per deposizione da eruzioni vulcaniche recenti o inondazioni. Sono stati quindi riproposti tutti gli altri sistemi di degrado sottoponendoli però ad un processo interpretativo originale al fine della costruzione dello schema DPSIR e della successiva traduzione in indicatori elementari.

Gli indicatori selezionati sono stati, pertanto, attribuiti ad una specifica dimensione dello schema DPSIR e ad un sistema di degradazione in modo univoco. Anche se in casi circoscritti alcuni indicatori potevano essere inclusi in sistemi diversi, si è preferito operare un'attribuzione univoca al fine di proporre uno schema interpretativo privo di ridondanze, utile anche nella successiva fase di costruzione dell'indice sintetico di vulnerabilità. Nella Tabella 3.1 riportiamo lo schema DPSIR completo con tutte le dimensioni di ricerca attribuite ai vari sistemi di degrado delle terre.

### 3.3 IL RUOLO DEGLI INDICATORI

Lo studio e la predisposizione di appositi indicatori dei fenomeni ambientali riscuotono un certo interesse nella pratica della ricerca empirica. Gli indicatori, suddivisi in appositi settori disciplinari, rappresentano lo strumento necessario per supportare operativamente un largo spettro di attività, fra le quali stimare, valutare, rappresentare cartograficamente la dimensione del fenomeno, nonché individuarne le cause, quantificarne gli impatti, giustificare la spesa per gli eventuali interventi correttivi, monitorare l'efficacia degli interventi stessi (per una panoramica più completa si rimanda a Zajczyk [1997], Corbetta [1999] e Aureli [2002]). Obiettivo finale è fornire un supporto alle decisioni a tutti coloro che, a livello nazionale, regionale o locale, possono essere chiamati a programmare e a valutare interventi sul territorio.

Tabella 3.1 – Applicazione dello schema DPSIR all’analisi dei processi di degrado delle terre e di desertificazione

Determinanti	Pressioni	Stato		Impatti	Risposte	
<b>Fattori di degrado delle terre: Clima</b>						
Cambiamenti climatici	Precipitazione, temperatura	Pioggia		Disponibilità idrica nel terreno	Irrigazione	
		Evapotraspirazione				
		Siccità				
		Ruscigliamento				
		Aridità				
<b>Fattori di degrado delle terre: Urbanizzazione/sigillamento</b>						
Espansione urbana, dinamica	Urbanizzazione	Densità demografica		Urban sprawl Soil scaling	Pianificazione urbanistica sostenibile	
		Caratteri dell’insediamento umano				
		Turismo				
<b>Fattori di degrado delle terre: Salinizzazione</b>						
Espansione urbana, agricoltura	Sovra-emungimento	Prelievo irriguo da falda		Salinizzazione	Diversificazione fonti irrigue	
		Sistemi irrigui ad elevato impatto agro-ambientale			Diversificazione sistemi irrigui	
<b>Fattori di degrado delle terre: Erosione idrica</b>						
Cambiamenti climatici, agricoltura	Aggressività climatica, pascolamento, incendi, gestione del suolo agro-silvo-pastorale	Caratteristiche del suolo	Profondità	Erosione idrica	Misure agro-ambientali	
			Tessitura			
			AWC			
			Stato parentale			
			Pietrosità			
			Drenaggio			
		Contenuto in carbonio organico				
		Caratteristiche della copertura vegetale			Aree protette	
		Attività antropiche	Sovra-pascolo			
			Incendi forestali			
Compattazione del suolo						
<b>Fattori di degrado delle terre: Inquinamento</b>						
Sviluppo economico	Contaminazione diffusa e puntuale	Carichi inquinanti		Eccesso di reflui	Vincoli ai carichi inquinanti	
		Attività estrattive				
<b>Fattori di degrado delle terre: Agricoltura</b>						
Sviluppo economico	Processi di intensificazione, concentrazione e marginalizzazione dell’agricoltura	Assetto territoriale	Intensificazione agricola	Perdita di terreno coltivabile	Agricoltura eco-compatibile	
			Assetto dello spazio rurale			
			Vocazione agricola			
		Strategie di gestione	Forma di conduzione		Diversificazione delle colture	Agriturismo
			Affittanza			
			Diversificazione attività conduttore			
		Sistema demoeconomico	Occupazione agricola		Redditività della terra	Misure per l’insediamento giovani imprenditori
			Invecchiamento degli addetti			
			Marginalizzazione aziendale			

Una dimensione problematica dell'analisi è rappresentata dal trattamento e dall'integrazione di indicatori che, provenienti da fonti dati diverse, sono passibili di contenere un grado elevato di ridondanza. Ciò si collega al problema generale di valutare correttamente l'importanza dei singoli indicatori, operazione non sempre semplice a causa della complessità di quantificare le relazioni con il fenomeno in studio.

A tal riguardo, si propongono metodologie di costruzione di indicatori sintetici (anche a livello spaziale) tipiche della statistica sociale, attraverso analisi statistica multivariata (si veda, ad esempio, Aureli 2002). Tali approcci, inizialmente impiegati per la riduzione dimensionale di complesse matrici di dati, forniscono valutazioni implicite sull'importanza delle singole variabili nell'ambito di *dataset* quantitativi (si veda anche, per un'applicazione ai fenomeni di desertificazione, Salvati *et al.* 2005).

Questo approccio potrebbe consentire un possibile trattamento differenziato degli indicatori socio-economici e geo-fisici. Eventuali indici sintetici di vulnerabilità potrebbero essere costruiti a partire dai soli indicatori geo-fisici, mentre quelli socio-economici potrebbero contribuire tramite un *indicatore sintetico* di contesto, che va cioè a diminuire oppure aggravare, attraverso un apposito *scaling*, la valutazione di rischio derivante dalle condizioni geo-fisiche.

#### 3.4 LA TRADUZIONE DELLO SCHEMA DPSIR IN INDICATORI AMBIENTALI

La fase di traduzione dello schema DPSIR in appositi indicatori elementari dei fenomeni considerati ha usufruito della letteratura preesistente sull'argomento. In questo ambito, sono stati considerati sia gli indicatori espressi a livello nazionale e recensiti da Ceccarelli *et al.* (2006), sia quelli proposti a livello internazionale, nelle varie azioni progettuali finanziate a livello europeo, fra cui, ad esempio, MEDALUS e DESERTLINKS.

La scelta degli indicatori per descrivere ogni specifica dimensione dello schema DPSIR si è avvalsa pertanto di fonti differenti (e.g., Brouwer & Crabtree 1998, Enne *et al.* 1998, Enne & Zucca 2000, APAT 2001, Brandt 2003, Trisorio 2005). Grande attenzione è stata posta alle indicazioni esposte in Brandt *et al.* (2003): i criteri formulati in questo studio hanno già stimolato la produzione di molti indicatori di rischio a scala nazionale e regionale.

Sono stati inizialmente selezionati 74 indicatori (Tabella 3.2):

- 18 per clima e cambiamenti climatici;
- 5 per urbanizzazione/sigillamento;
- 5 per salinizzazione;
- 23 per erosione;
- 4 per inquinamento;
- 18 per agricoltura.



Tabella 3.2 – Operativizzazione del modello DPSIR in indicatori elementari applicati allo studio dei fenomeni di degrado delle terre

Sistemi di degrado		Indicatori	DPSIR
clima e cambiamenti climatici	Precipitazione	<i>Precipitazione totale media annua</i>	S
		<i>Indice di stagionalità delle precipitazioni</i>	S
		<i>Indice di concentrazione delle piogge</i>	S
		<i>Indice di variabilità delle precipitazioni</i>	S
		<i>Pioggia utile</i>	S
		<i>Pioggia utile (USDA)</i>	S
	Temperatura	<i>Sommatorie termiche (Tbase = 10°C)</i>	S
		<i>Sommatorie termiche (Tbase = 15°C)</i>	S
		<i>Temperature estreme (T &gt; 35°C)</i>	S
	Evapotraspirazione	<i>ET<sub>o</sub></i>	S
		<i>ET<sub>R</sub></i>	S
	Siccità	<i>Periodi secchi (dry spells)</i>	S
		<i>Indice di siccità (freq. SPI &lt; 0.99)</i>	S
	Ruscellamento	<i>Surplus/Runoff</i>	S
Aridità	<i>Indice di aridità climatica (UNEP)</i>	S	
	<i>Indice di aridità corretto</i>	S	
Disponibilità idrica nel terreno	<i>Deficit idrico</i>	S	
	<i>Indice di aridità dei suoli (soil moisture)</i>	I	
Insolazione della superficie	<i>Esposizione</i>	S	
urbanizzazione sigillamento	Densità demografica	<i>Densità di popolazione</i>	S
		<i>Variazione demografica</i>	S
	Caratteri dell'insediamento umano	<i>Popolazione residente nei centri abitati</i>	S
	Turismo	<i>Densità delle attività turistiche</i>	S
salinizzazione	Soil sealing-Urban sprawl	<i>Estensione delle aree costruite</i>	I
	Prelievo irriguo da falda	<i>Aziende agricole con prelievo da falda</i>	S
	Irrigazione ad elevato impatto agro-ambientale	<i>Aziende agricole con sistemi irrigui ad elevato impatto agro-ambientale</i>	S
		Salinizzazione	<i>Aree a rischio di salinizzazione primaria</i>
	<i>Aree a rischio di salinizzazione secondaria</i>		I
Diversificazione delle fonti irrigue	<i>Indice di Shannon sulle fonti irrigue</i>	R	
erosione idrica	Caratteristiche del suolo	<i>Profondità del suolo</i>	S
		<i>Tessitura</i>	S
		<i>Available water capacity (AWC)</i>	S
		<i>Materiale parentale (substrato)</i>	S
		<i>Scheletro</i>	S
		<i>Grado di pietrosità superficiale del suolo</i>	S
		<i>Capacità di drenaggio del suolo</i>	S
		<i>Contenuto in carbonio organico</i>	S
		<i>Rischio di erosione idrica</i>	I
		<i>Pendenza</i>	S
	Caratteristiche della copertura vegetale	<i>Indice di resistenza alla siccità</i>	S
		<i>Indice di rischio incendio</i>	S
		<i>Indice di protezione dall'erosione</i>	S
		<i>Indice di copertura vegetale</i>	S
		<i>Indice di resistenza alla siccità modificato</i>	S
	Caratteristiche della pressione antropica	<i>Indice di intensità nell'uso del suolo agroforestale</i>	S
		<i>Indice di pascolamento</i>	S
		<i>Superfici boscate incendiate/sup. comunale</i>	S
		<i>Superfici boscate incendiate/sup. incendiata</i>	S
		<i>Spese ripristino soprassuolo forestale</i>	R
		<i>Indice di compattazione del suolo</i>	S
	Misure agro-ambientali	<i>Aziende agricole beneficiarie (Reg. 2078)</i>	R
	Aree protette	<i>Superfici sotto vincolo di tutela ambientale</i>	R

(Segue Tabella 3.2)

Sistemi di degrado		Indicatori	DPSIR
inquinamento e deterioramento fisico	Carichi inquinanti	<i>Carico totale in fosforo</i>	S
		<i>Carico totale in azoto</i>	S
	Attività estrattive	<i>Densità delle attività estrattive</i>	S
	Eccesso di reflui	<i>Carico organico totale</i>	I
impatto dell'agricoltura	Intensificazione agricola	<i>Indice di intensificazione agricola</i>	S
	Aspetto dello spazio rurale	<i>SAU / SAT</i>	S
	Vocazione agricola	<i>SAT / Superficie comunale</i>	S
		<i>Indice di boscosità rurale</i>	S
	Forma di conduzione	<i>Aziende agricole a carattere familiare</i>	S
	Affittanza	<i>Superfici agricole in affitto</i>	S
	Diversificazione attività conduttore	<i>Aziende con conduttori che svolgono l'attività lavorativa prevalentemente in azienda</i>	S
	Occupazione agricola	<i>Addetti al settore primario</i>	S
	Invecchiamento degli addetti	<i>Addetti agricoli con più di 55 anni</i>	S
	Marginalizzazione aziendale	<i>Aziende agricole con SAU &lt; 2 ha</i>	S
	Perdita di terreno coltivabile	<i>Variazione decennale della SAU</i>	I
	Diversificazione delle colture agrarie	<i>Indici di Shannon e di Pielou sulle colture agrarie</i>	I
	Redditività della terra	<i>Indice di redditività della terra</i>	I
	Agricoltura eco-compatibile	<i>Aziende agricole con coltivazioni biologiche</i>	R
	Agriturismo	<i>Densità di aziende agrituristiche</i>	R
	Misure insediamento giovani imprenditori	<i>Aziende agricole beneficiarie (Reg. 2079)</i>	R
	Irrigazione	<i>Superfici agricole effettivamente irrigate</i>	R
<i>Superfici agricole irrigabili</i>		R	

A livello concettuale, per ogni variabile all'interno di ciascuna area tematica, è stata individuata la tipologia della relazione ed il verso associato al concetto di *vulnerabilità al degrado delle terre*. È stato quindi indicato se la relazione è lineare e l'eventuale verso associato (ad es., positivo o negativo). Il verso di ciascun indicatore è stato individuato sulla base della relazione concettuale con il processo in studio e, soprattutto, sulla base di informazioni pregresse (e.g., Basso *et al.* 1999, Giordano *et al.* 2002, Brandt *et al.* 2003, Motroni *et al.* 2004, Salvati *et al.* 2005, Ceccarelli *et al.* 2006), tenendo in considerazione anche la distribuzione di frequenza.

Un'ulteriore classificazione degli indicatori, originale e mirata ai fini dell'individuazione di indici sintetici legati ai fenomeni in studio, si è basata sulla utilizzazione effettiva dell'informazione distinguendo le variabili in *hard* e *soft*. Questa distinzione mette in evidenza due tipi di indicatori. Quelli *hard* presentano una relazione con i fenomeni di degrado delle terre evidente e ben documentata a livello sperimentale dalle fonti scientifiche descritte in precedenza. Quelli *soft* presentano invece legami indiretti con gli stessi fenomeni e, pur essendo menzionati sia a livello nazionale che internazionale come possibili fattori coinvolti nella determinazione del livello di vulnerabilità ambientale, non vengono di norma inclusi in modelli multidimensionali (e.g., Medalus/ESA). Potrebbero essere, pertanto, definiti come indicatori di contesto, utili a definire le situazioni territoriali *di contorno* ed affiancare, in un sistema informativo sulla desertificazione, gli indici sintetici di vulnerabilità.

Seguendo questa interpretazione, gli indicatori hard sono stati considerati nei modelli multivariati al fine di ottenere indici sintetici di vulnerabilità, mentre gli indicatori soft ne sono stati esclusi venendo tuttavia analizzati (al pari di quelli hard) singolarmente solo a livello elementare. In tabella 3.3 è mostrata la classificazione degli indicatori in termini hard e soft e il verso (positivo o negativo) che esercitano nei confronti dei processi di degrado delle terre.

Tabella 3.3 – Indicatori elementari per verso e caratterizzazione ‘hard’ o ‘soft’ rispetto ai fenomeni di degrado delle terre

Indicatori	Verso	H/S	Indicatori	Verso	H/S
Precipitazione totale media annua	☺	H	Pendenza	☹	H
Indice di stagionalità delle precipitazioni	☹	S	Indice di resistenza alla siccità	☺	H
Indice di concentrazione delle piogge	☹	S	Indice di rischio incendio	☹	H
Indice di variabilità delle precipitazioni	☹	S	Indice di protezione dall'erosione	☺	H
Pioggia utile	☺	S	Indice di copertura vegetale	☺	H
Pioggia utile (USDA)	☺	S	Indice di resistenza alla siccità modificato	☺	H
Sommatorie termiche ( $T_{base} = 10^{\circ}C$ )	☹	S	Indice di intensità nell'uso del suolo agroforestale	☺	H
Sommatorie termiche ( $T_{base} = 15^{\circ}C$ )	☹	S	Indice di pascolamento	☹	H
Temperature estreme ( $T < 35^{\circ}C$ )	☹	S	Superfici boscate incendiate/sup. comunale	☹	H
$ET_0$	☹	S	Superfici boscate incendiate/sup. incendiata	☹	H
$ET_R$	☹	S	Spese ripristino soprassuolo forestale	☺	S
Periodi secchi (dry spells)	☹	H	Indice di compattazione del suolo	☹	n.a.
Indice di siccità (freq. SPI < -0.99)	☹	H	Misure agroambientali:		
Surplus/Runoff	☹	S	Aziende agricole beneficiarie (Reg. 2078)	☺	S
Indice di aridità climatica (UNEP)	☹	H	Superfici sotto vincolo di tutela ambientale	☹	H
Indice di aridità corretto	☹	S	Carico totale in fosforo	☹	n.a.
Deficit idrico	☹	S	Carico totale in azoto	☹	n.a.
Indice di aridità dei suoli (soil moisture)	☹	S	Densità delle attività estrattive	☹	S
Esposizione	☹	H	Carico organico totale	☹	H
Densità di popolazione	☹	H	Indice di intensificazione agricola	☹	H
Variazione demografica	U	H	SAU / SAT	☹	S
Popolazione residente nei centri abitati	☹	S	SAT / Superficie comunale	☹	S
Densità delle attività turistiche	☹	S	Indice di boscosità rurale	☺	S
Estensione delle aree costruite	☹	H	Aziende agricole a carattere familiare	☺	S
Aziende agricole con prelievo da falda	☹	S	Superfici agricole in affitto	☹	H
Aziende agricole con sistemi irrigui ad elevato impatto agro-ambientale	☹	n.a.	Aziende con conduttori che svolgono l'attività lavorativa prevalentemente in azienda	☹	S
Aree a rischio di salinizzazione primaria	☹	H	Addetti al settore primario	☺	n.a.
Aree a rischio di salinizzazione secondaria	☹	S	Addetti agricoli con più di 55 anni	☹	H
Indice di Shannon sulle fonti irrigue	☺	S	Aziende agricole con SAU < 2 ha	☹	S
Profondità del suolo	☺	H	Variazione decennale della SAU	U	H
Tessitura	☺	H	Indici di Shannon e di Pielou sulle colture agrarie	☺	S
Available water capacity (AWC)	☺	H	Indice di redditività della terra	☺	n.a.
Materiale parentale (substrato)	☺	H	Aziende agricole con coltivazioni biologiche	☺	S
Scheletro	☹	S	Densità di aziende agrituristiche	☺	S
Grado di pietrosità superficiale del suolo	☹	S	Insiadamento dei giovani agricoltori		
Capacità di drenaggio del suolo	☺	S	Aziende agricole beneficiarie (Reg. 2079)	☺	n.a.
Contenuto in carbonio organico	☺	S	Superfici agricole effettivamente irrigate	☺	S
Rischio di erosione idrica	☹	H	Superfici agricole irrigabili	☺	S

Legenda dei simboli adottati:

- ☺ : indicatore con effetto mitigante sui processi di degrado delle terre
- ☹ : indicatore con effetto predisponente dei processi di degrado delle terre
- U : indicatore a duplice effetto sui processi di degrado delle terre

H : indicatore "Hard"

S : indicatore "Soft"

n.a. : indicatore non calcolabile su scala geografica e arco temporale scelto in questo studio

Complessivamente, quindi, rispetto agli indicatori inizialmente selezionati se ne avranno 19 legati al clima e ai cambiamenti climatici (di cui 5 hard e 14 soft), 5 per urbanizzazione/sigillamento (3 hard e 2 soft), 5 per salinizzazione (1 hard, 3 soft e 1 non calcolabile a livello nazionale), 23 per erosione (16 hard, 6 soft e 1 non calcolabile a livello nazionale), 4 per inquinamento (1 hard, 1 soft e 2 non calcolabili a livello nazionale) e 18 per agricoltura (4 hard, 11 soft e 3 non calcolabili a livello nazionale). Un totale di 30 indicatori hard.

### 3.5 GLI STRATI INFORMATIVI E L'APPROCCIO CARTOGRAFICO

La necessità di elaborare un indice sintetico di vulnerabilità, relativo a tutto il territorio nazionale e ad una scala di adeguato dettaglio, ha reso indispensabile l'utilizzo di procedure di analisi geografica e di appropriate tecnologie GIS. L'approccio geografico ha evidenziato in primo luogo il problema della eterogeneità delle informazioni. Infatti, ai fattori ritenuti più significativi per esprimere il grado di rischio, corrispondono dati di natura ed origine diversa. Le differenze sono principalmente legate alla precisione geografica del dato di origine (diversa risoluzione spaziale), al periodo di riferimento (disponibilità di una o più serie storiche, diversa risoluzione temporale) e alle diverse modalità con cui è possibile generare tali dati.

Nel caso specifico si è dovuto procedere ad armonizzare fra loro informazioni con diverso dettaglio di risoluzione spaziale relative, ad esempio, ad una doppia griglia pedologica di  $1 \times 1$  km e  $8 \times 8$  km, ad una griglia meteo-climatica di  $30 \times 30$  km, ad un modello digitale del terreno con risoluzione di 75 metri e a strati informativi relativi alla popolazione e all'impatto antropico (densità e variazione demografica) organizzati per ambiti comunali.

Per consentire l'integrazione di queste informazioni si è scelto di ricondurre la risoluzione spaziale dell'analisi a quella di una cella di dimensione costante ( $1 \text{ km} \times 1 \text{ km}$ ). Funzionalità GIS sono state anche impiegate nella estrazione dei dati utilizzati per l'analisi statistica e nella determinazione dell'indice sintetico di vulnerabilità. Le variabili selezionate sono state rappresentate come matrici con copertura del territorio nazionale e gestite tramite procedure cartografiche in modo di ottenere l'indice voluto.

È stato adottato un duplice approccio partendo, comunque, da un set di indicatori hard consistente (cfr. Tabella 3.4). Da una parte, è stato prodotto un indice sintetico multi-temporale di ispirazione MEDALUS/ESA che rappresenta, ai fini di questo studio, il riferimento consolidato, un *benchmark* quantita-

Tabella 3.4 - Indicatori elementari inseriti nelle procedure di calcolo degli indici sintetici di vulnerabilità

Indicatori	ESA	LVI
<b>Degrado delle terre per cambiamenti climatici</b>		
Precipitazione totale media annua	✓	✓
Periodi secchi (dry spells)		✓
Indice di siccità (frequenza SPI < -0.99)		✓
Indice di aridità climatica (UNEP)	✓	✓
Esposizione	✓	
<b>Degrado delle terre per urbanizzazione/sigillamento</b>		
Densità di popolazione		✓
Variazione demografica		✓
Estensione delle aree costruite		✓
<b>Degrado delle terre per salinizzazione</b>		
Aree a rischio di salinizzazione primaria		✓
<b>Degrado delle terre per erosione idrica</b>		
Profondità del suolo	✓	✓
Tessitura	✓	✓
Available water capacity (AWC)	✓	✓
Materiale parentale (substrato)	✓	✓
Rischio di erosione idrica		✓
Pendenza	✓	
Indice di resistenza alla siccità	✓	✓
Indice di rischio incendio	✓	✓
Indice di protezione dall'erosione	✓	✓
Indice di copertura vegetale	✓	✓
Indice di resistenza alla siccità modificato		✓
Indice di intensità nell'uso del suolo agroforestale		✓
Indice di pascolamento		✓
Superfici boscate incendiate/superficie comunale		✓
Superfici boscate incendiate/superficie incendiata		✓
Superfici sotto vincolo di tutela ambientale		✓
<b>Degrado delle terre per l'inquinamento</b>		
Carico organico totale		✓
<b>Degrado delle terre per la pressione dell'agricoltura</b>		
Indice di intensificazione agricola		✓
Superfici agricole in affitto		✓
Addetti agricoli con più di 55 anni		✓
Variazione decennale della SAU		✓

tivo su cui poter operare confronti e comparazioni con i risultati provenienti da altre procedure operative, anche originali, al fine di ottenere una verifica, almeno indiretta, dei risultati ottenuti. Dall'altra, è stato sviluppato un approccio originale che prevede una certa autonomia rispetto ai modelli disponibili in letteratura (cfr. Capitolo 2). Alcuni aspetti originali riguardano:

- *la rappresentazione delle variabili in forma cartografica* attraverso una trasformazione in scala ordinale (con punteggi compresi fra 0 e 1) in modo da essere rese comparabili e trattate tramite procedure GIS nella successiva determinazione degli indici sintetici;
- *la valutazione della ridondanza e dell'importanza relativa delle variabili incluse nel modello*, effettuata attraverso tecniche di analisi statistica multivariata (PCA);
- *il calcolo di indici sintetici* di vulnerabilità alla desertificazione costruito come somma pesata delle variabili trasformate sulla base delle indicazioni scaturite dalla PCA in ciascun dominio spaziale di riferimento.

L'evoluzione delle singole variabili e dell'indice sintetico può essere seguita sulla base delle due serie storiche disponibili, applicando così un approccio multi-temporale. Nel dettaglio, i passaggi tecnici possono essere descritti come segue:

- ✓ scelta delle variabili e predisposizione dei relativi strati tematici;
- ✓ trasformazione degli strati tematici;
- ✓ estrazione dei dati elementari per ciascuno strato sulla base di una griglia regolare;
- ✓ formazione di una matrice di analisi di dimensioni  $k$  (variabili)  $\times$   $n$  (unità geografiche);
- ✓ applicazione della PCA alla matrice dei dati ed individuazione delle componenti più significative ai fini della costruzione di un indice sintetico;
- ✓ calcolo di indici sintetici per ciascun dominio spaziale, attraverso una composizione additiva delle differenti variabili trasformate in base alle componenti principali più significative.

### 3.6 SELEZIONE DELLE VARIABILI E PREDISPOSIZIONE DEGLI STRATI TEMATICI

Sono state selezionate, fra tutte quelle considerate, 30 variabili ritenute funzionalmente connesse ai fenomeni di desertificazione (cfr. Tabella 3.4). Il maggior numero di indicatori hard utilizzati in questo modello rispetto, ad esempio, a quello contemplato nella procedura ESA, è comunque ammissibile e compatibile con le procedure di analisi statistica multivariata adottata. Tali variabili sono state trasformate in una scala comune in modo da poter essere confrontate tra loro. Per ogni serie temporale l'operazione ha implicato la trasformazione dei valori in un punteggio utilizzando uno stretch lineare. La

formula adottata per la trasformazione, in una scala compresa fra i valori di 0 e 1 è la seguente:

$$x'_i = (x_i - x_{\min}) / (x_{\max} - x_{\min})$$

La procedura tiene conto del verso dell'indicatore in modo da indicare sempre una relazione diretta fra variabile e vulnerabilità ai fenomeni di degrado delle terre. Vi sono variabili in cui la relazione cambia a seconda di valori soglia. È il caso, ad esempio, della variazione demografica. Infatti, mentre per i valori compresi tra zero e quelli con segno negativo più alto si può ipotizzare una relazione negativa (a forte decremento demografico corrisponde una maggiore predisposizione), per valori da zero a quelli positivi più elevati si ipotizza una relazione positiva (quanto maggiore è l'incremento demografico tanto maggiore è la predisposizione ai fenomeni in esame). La formula generale andrà, pertanto, valutata di volta in volta.

Una volta ottenuti gli strati tematici trasformati per ogni variabile, si procede con l'estrazione dalle matrici dei dati elementari per ciascuna variabile da utilizzare nell'analisi statistica multivariata al fine di ottenere una valutazione quantitativa della ridondanza degli indicatori e per ottenere fattori latenti (componenti principali) utili alla costruzione dell'indice sintetico.

A questo scopo è stata creata una griglia di punti con passo 15 km che include 346 nodi collocati all'interno del territorio nazionale. È stata messa a punto una procedura per poter determinare in modo casuale l'origine della stessa griglia (Figura 3.3).



Fig. 3.3 – Griglia di 346 punti utilizzata nell'analisi multivariata per l'estrazione dei dati

Per ogni punto nella griglia sono stati creati due *dataset* relativi rispettivamente ai periodi di riferimento 1961-1990 e 1971-2000 contenenti le 30 variabili attive. Si ricordi che le variabili pedologiche, ad esempio, presenteranno valori uguali nei due periodi di studio, non essendo disponibili rilevazioni multi-temporali, come accade invece per la gran parte delle variabili afferenti alle altre dimensioni di ricerca.

### 3.7 ANALISI STATISTICA MULTIVARIATA

Le matrici di dati, relative alle due serie storiche considerate, sono state valutate tramite analisi delle componenti principali (PCA). La PCA è una tecnica multivariata che consente di esaminare le relazioni fra diverse variabili quantitative. Viene dapprima calcolata una matrice di correlazione fra le variabili attraverso il coefficiente di correlazione lineare di Pearson. Coefficienti di correlazione elevati mettono in evidenza variabili fortemente correlate fra loro e, quindi, ridondanti.

La PCA procede attraverso l'estrazione delle componenti principali, variabili 'latenti' costruite artificialmente come combinazione lineare delle variabili originarie massimizzando la varianza di ciascuna di esse rispetto alla varianza complessiva della matrice dei dati. Le componenti principali sono ortogonali fra di loro e possono essere ordinate in base alla frazione di varianza spiegata rispetto alla matrice generale. L'analisi, in genere, produce risultati tanto più accettabili quanto più le prime componenti principali riescono a spiegare proporzioni di varianza elevate.

Il numero di componenti principali da considerare è stato scelto in base all'esplorazione grafica dello *scree-plot* (e.g., Vitali 1993) per il quale le prime componenti dovrebbero spiegare, in entrambe le serie storiche, proporzioni di varianza elevata, mentre le rimanenti componenti dovrebbero presentare frazioni di varianza spiegata sensibilmente più basse.

Come già affermato, le componenti principali rappresentano variabili latenti, inosservabili, costruite artificialmente imponendo condizioni matematiche specifiche. L'interpretazione delle componenti stesse può essere effettuata a partire dalla correlazione lineare che ciascuna variabile originaria presenta con le componenti principali. Correlazioni positive fra variabile *i-esima* e componente principale *j-esima* indicheranno che la componente "*j*" è fortemente rappresentata, in modo diretto, dalla variabile "*i*" e, viceversa, per le correlazioni di segno negativo. Considerando un ulteriore strumento, il cerchio delle correlazioni, si perviene ad una più solida interpretazione del significato delle componenti principali.

Un ulteriore – e ancora più significativo – contributo all'interpretazione del significato delle tre componenti principali scelte può essere fornito dai contributi delle singole variabili elementari alle componenti principali. Da tale ana-



lisi, la prima componente potrebbe essere dunque interpretata come rappresentativa del fattore climatico, se i contributi delle variabili agro-climatiche a questa componente sono superiori ai contributi espressi dalle altre variabili.

Considerando la varianza spiegata da ciascuna componente ed il contributo di ciascuna variabile alle componenti, è stato possibile costruire un indice di importanza relativa delle singole variabili elementari, utilizzato poi come peso nella successiva elaborazione. Per ogni variabile si calcola il punteggio dei contributi a ciascuna delle tre componenti principali, moltiplicato per l'autovalore riferito ad ogni componente. La somma dei tre punteggi (ciascuno riferito ad una componente principale) fornisce un peso relativo attribuibile a ciascuna variabile elementare.

Le variabili trasformate secondo le modalità descritte in precedenza e pesate sulla base dei risultati della PCA vengono a questo punto sommate per ottenere un *indice sintetico*. Il calcolo si effettua separatamente per ogni serie storica con un'operazione algebrica sulle matrici GIS. La formulazione dell'indice sintetico di vulnerabilità alla desertificazione (LVI) è pertanto:

$$LVI = \sum_j P_j V_j$$

dove  $V_j$  = valore associato alla  $j$ -esima variabile inserita nel modello in ogni dominio spaziale di stima e  $P_j$  = peso attribuito a ciascuna variabile mediante l'analisi statistica.

La procedura è stata applicata in *step* successivi, ossia:

- a partire dai soli indicatori hard, estrazione dati con griglia, PCA, studio pesi e loro applicazione a livello di singolo sistema di degrado, per la costruzione di singoli indicatori parziali per sistema di degrado;
- sui 6 indicatori parziali ottenuti dal passo precedente, seconda estrazione dati, successiva PCA, studio e applicazione pesi finalizzata a determinare due indicatori sintetici, relativi il primo al comparto geo-fisico (clima, suolo, erosione, salinizzazione) ed il secondo al comparto socio-economico (carichi antropici, agricoltura);
- come terzo step, è stato costruito un indice sintetico di vulnerabilità al degrado delle terre come media aritmetica dei due indicatori settoriali di cui al punto precedente.

Questa struttura modulare, ancorché complessa, permette una valutazione gerarchica delle differenti determinanti dei fenomeni di LD, consentendo inoltre di aggregare tali informazioni per step progressivi, ottenendo strumenti cartografici con contenuti via via più sintetici, in grado di fornire un sistema di supporto alle decisioni integrato. L'indice finale rappresenta la sintesi di questo processo, ma il contenuto informativo dei singoli strati tematici viene esaltato da uno schema siffatto, consentendo all'utente la valutazione congiunta dei differenti fattori di degrado, presi separatamente o uniti insieme.



## CAPITOLO 4

### LE BASI INFORMATIVE E LE FONTI DATI

*Ut sementem feceris ita metes.*

*(Mieterai a seconda di ciò che avrai seminato)*

MARCO TULLIO CICERONE

La valutazione della vulnerabilità del territorio italiano ai processi di degrado delle terre si è avvalsa di un modello concettuale basato su indicatori di varia natura, da quelli ambientali a quelli economico-sociali, opportunamente selezionati per tenere nella giusta considerazione la reale portata del fenomeno e le complesse relazioni fra variabili coinvolte. La multidisciplinarietà dell'approccio ha quindi richiesto il ricorso a varie fonti informative che sono state individuate anche in funzione dell'attendibilità dei dati e della rispondenza, in termini spazio-temporali, agli obiettivi della ricerca. In particolare e in conformità all'intervallo temporale complessivamente esplorato (1961-2000), sono state scelte le basi di dati in grado di coniugare al meglio i requisiti di una completa ed omogenea copertura nazionale con quelli di un idoneo dettaglio geografico che è stato possibile spingere fino alla dimensione territoriale comunale (Tab. 4.1).

#### 4.1 CLIMA

La dimensione climatica riunisce in sé un insieme di cause fra le più incisive nel promuovere i processi di degrado delle terre. L'aggressività del clima, peraltro, è fortemente aumentata nelle ultime due decadi per il progressivo amplificarsi a scala globale di alterazioni dei regimi meteorologici, in particolare di quelli termo-pluviometrici. Per quanto riguarda più specificamente il nostro Paese, i segnali di un tale cambiamento sono principalmente riscontrabili nell'aumento delle temperature, nella riduzione degli apporti delle precipitazioni e in un più serrato susseguirsi di eventi estremi (ondate di calore e piogge intense). In un quadro climatico più incerto che in passato sono giustificate le preoccupazioni per le conseguenze sugli equilibri ambientali, soprattutto se già compromessi da una eccessiva pressione demografica e/o da attività economiche ecologicamente poco sostenibili. Nel caso dell'agricoltura, il ruolo del clima nei processi di degrado delle terre potrebbe risultare acuito, ad esempio, dal più massiccio ricorso all'irrigazione al fine di compensare i minori apporti pluviometrici ed i più elevati fabbisogni idrici delle colture.

Tabella 4.1 – Fonti degli indicatori elementari applicati allo studio dei fenomeni di degrado delle terre.

Sistemi di degrado	Indicatori	Fonte dati	
clima e cambiamenti climatici	Precipitazione	<p>Precipitazione totale media annua</p> <p>Indice di stagionalità delle precipitazioni</p> <p>Indice di concentrazione delle piogge</p> <p>Indice di variabilità delle precipitazioni</p> <p>Pioggia utile (metodo empirico)</p> <p>Pioggia utile (USDA)</p> <p>Sommatorie termiche (<math>T &gt; 10</math> e <math>15^{\circ}\text{C}</math>)</p> <p>Temperature estreme (<math>T &gt; 35^{\circ}\text{C}</math>)</p> <p><math>ET_0</math></p> <p><math>ET_k</math></p> <p>Periodi secchi (dry spells)</p> <p>Indice di siccità (freq. SPI &lt; 0.99)</p> <p>Surplus/Runoff</p> <p>Indice di aridità climatica (UNEP)</p> <p>Indice di aridità corretto</p> <p>Deficit idrico</p> <p>Indice di aridità dei suoli (soil moisture)</p>	<p>Banca Dati Agrometeorologica Nazionale – Sistema Informativo Agricolo Nazionale del Ministero delle Politiche Agricole Alimentari e Forestali (SIAN/MIPAAF) e CRA-CMA</p>
	Temperatura		
	Evapotraspirazione		
	Siccità		
	Ruscigliamento		
	Aridità		
	Disponibilità idrica nel terreno		
	Densità demografica		ISTAT: Censimento Generale della Popolazione e delle Abitazioni
	Caratteri dell'insediamento umano		ISTAT: Censimento Generale dell'Industria e dei Servizi
	Turismo		Cartografia CORINE Land Cover
salinizzazione	Soil sealing-Urban sprawl		
	Prelievo irriguo da falda		
	Irrigazione ad elevato impatto agro-ambientale		ISTAT: Censimento Generale dell'Agricoltura
	Salinizzazione		Varie
	Diversificazione delle fonti irrigue		ISTAT: Censimento Generale dell'Agricoltura
erosione idrica	Caratteristiche del suolo		
		Profondità del suolo	
		Tessitura	
		Available Water Capacity (AWC)	
		Substrato-Stato parentale	
		Scheletro	
		Grado di pietrosità superficiale del suolo	
		Capacità di drenaggio del suolo	
		Contenuto in carbonio organico	
		Rischio di erosione idrica	
		Centro Nazionale di Cartografia Pedologica (CNCPP); CRA-ABP	
		MATTM/JRC	

		Cartografia CORINE Land Cover	
Caratteristiche della copertura vegetale	Indice di resistenza alla siccità		
	Indice di rischio incendio		
	Indice di protezione dall'erosione		
	Indice di copertura vegetale		
	Indice di resistenza alla siccità modificato		
	Indice di intensità nell'uso del suolo agroforestale		
	Indice di pascolamento		
	Superfici boscate incendiate/sup. comunale		ISTAT: Censimento Generale dell'Agricoltura
	Superfici boscate incendiate/sup. incediata		ISTAT: Censimento Generale dell'Agricoltura/ Corpo Forestale dello Stato
	Spese ripristino soprassuolo forestale		Corpo Forestale dello Stato
Caratteristiche della pressione antropica	Indice di compattazione del suolo		ISTAT: Censimento Generale dell'Agricoltura Database AGEA
	Aziende agricole beneficiarie (Reg. 2078)		MATTM
	Superfici sotto vicolo di tutela ambientale		
	Carico totale in fosforo		Censimenti Generali – Statistiche agrarie (ISTAT)
	Carico totale in azoto		
	Densità delle attività estrattive		ISTAT: Censimento Generale dell'Agricoltura e della Popolazione
	Carico organico totale		ISTAT: Censimenti Generali dell'Agricoltura, della Popolazione e dell'Industria
	Indice di intensificazione agriola		
	SAU / SAT		
	SAT / Superficie comunale		
inquinamento e deterioramento fisico	Indice di boscosità rurale		
	Aziende agricole a carattere familiare		
	Superfici agricole in affitto		
	Aziende con conduttori che svolgono l'attività lavorativa prevalentemente in azienda		
	Addetti al settore primario		ISTAT: Censimento Generale dell'Agricoltura e delle Abitazioni
	Addetti agricoli con più di 55 anni		
	Aziende agricole con SAU < 2 ha		
	Variatione decennale della SAU		ISTAT: Censimento Generale dell'Agricoltura
	Indici di Shannon e di Pielou sulle colture agrarie		
	Indice di redditività della terra		ISTAT: Statistiche agrarie e di contabilità nazionale
impatto dell'agricoltura	Aziende agricole con coltivazioni biologiche		
	Densità di aziende agrituristiche		ISTAT: Censimento Generale dell'Agricoltura
	Aziende agricole beneficiarie (Reg. 2079)		AGEA
	Superfici agricole effettivamente irrigate		
	Superfici agricole irrigabili		
	Misure agro-ambientali		
	Arete protette		
	Carichi inquinanti		
	Attività estrattive		
	Eccesso di reflui		
Caratteristiche della pressione antropica	Intensificazione agricola		
	Assetto dello spazio rurale		
	Vocazione agricola		
	Forma di conduzione		
	Affittanza		
	Diversificazione attività conduttore		
	Occupazione agricola		
	Invecchiamento degli addetti		
	Marginalizzazione aziendale		
	Perdita di terreno coltivabile		
Misure insediamento giovani imprenditori	Diversificazione delle colture agrarie		
	Redditività della terra		
	Agricoltura eco-compatibile		
	Agriturismo		
	Misure insediamento giovani imprenditori		
	Irrigazione		

In questo lavoro sono state realizzate numerose elaborazioni climatiche a scala nazionale allo scopo di ricavare i relativi *indicatori* ma, come in tutte le analisi di stampo territoriale, è stato necessario risolvere preliminarmente il problema connesso alla scelta della base dati più adeguata ad assicurare, per quanto possibile, la più completa ed omogenea copertura del dominio spaziale preso in esame.

Precedenti esperienze di stima della vulnerabilità ambientale hanno infatti evidenziato una serie di problematiche legate sostanzialmente alla disponibilità, accessibilità ed eterogeneità delle fonti dati utilizzate, nonché alle svariate diverse possibilità di calcolare, di stimare e rappresentare nel continuo spaziale le grandezze di interesse rilevate a livello puntuale (Cfr. Ceccarelli *et al.* 2006).

È opportuno, pertanto, esplicitare i limiti e distinguere i casi di uno studio a valenza nazionale rispetto a quello indirizzato ad un ambito territoriale più circoscritto. Nel primo caso, come appare chiaro in questo lavoro, è apparso opportuno utilizzare i dati delle reti nazionali<sup>1</sup> di monitoraggio che, pur nella diversità delle finalità istituzionali e talora anche dei protocolli di campionamento adottati, garantiscono un sufficiente standard qualitativo, buona affidabilità e, soprattutto, serie storiche longeve di lunghezza pari o superiore a 30 anni. Il numero, la densità e la distribuzione di questi punti di misura (considerando nella fattispecie quelli che hanno effettivamente funzionato negli ultimi 50 anni) risultano in genere adeguati a garantire la copertura del territorio nazionale con un livello di dettaglio, però, non sempre ottimale. Attraverso specifiche tecniche di interpolazione spaziale è possibile migliorare il livello di rappresentazione offerto dai dati misurati presso le singole stazioni di rilevamento ovviando, in tal modo, ai “punti ciechi” delle reti di monitoraggio o ai dati mancanti inevitabilmente presenti nelle serie storiche. Tuttavia, considerando le caratteristiche geografiche ed orografiche del territorio italiano, risulta abbastanza difficile ottenere in queste condizioni una stima delle grandezze meteo-climatiche che abbia una effettiva significatività a livello locale. Si pensi, ad esempio, che la spazializzazione cui fa riferimento la modellistica operativa attualmente in uso presso il Sistema Informativo Agricolo Nazionale (SIAN) del Ministero delle Politiche Agricole Alimentari e Forestali, pur derivando da un apposito studio climatologico che ha preso in esame circa 2000 stazioni di rilevamento, si basa attualmente su una griglia territoriale con risoluzione di 30 km (cfr. Perini *et al.* 2004).

Le grandezze climatiche possono in genere essere spazializzate anche grazie a variabili ancillari, quali la quota, la latitudine, l'esposizione dei versanti, la distanza dalla linea di costa, etc. Si ritiene altamente raccomandabile, in ogni caso,

<sup>1</sup> Reti meteorologiche nazionali sono, ad esempio, quelle che afferiscono all'APAT (ex Servizio Idrografico e Mareografico Nazionale), al CRA-CMA (ex UCEA) e al Servizio Meteorologico dell'Aeronautica Militare.

valutare preliminarmente, in termini di costi-benefici, l'uso delle suddette procedure in relazione agli obiettivi da raggiungere e all'errore di stima tollerato.

Al fine di soddisfare i requisiti di affidabilità, di copertura nazionale, di omogeneità, di completezza e lunghezza delle serie storiche, si è scelto di utilizzare in questo lavoro i dati derivati da Analisi Oggettiva<sup>2</sup> presenti presso la Banca Dati Agrometeorologica Nazionale (BDAN).

L'ipotesi fondante dell'Analisi Oggettiva e, più in generale, della geostatistica, è quella di considerare le grandezze fisiche da analizzare alla stregua di *variabili aleatorie regionalizzate*. Le variabili meteorologiche, non essendo mai completamente indipendenti dalla loro posizione geografica ma, al contrario, risultando fortemente influenzate dal luogo e dal tempo in cui si manifestano, rappresentano un ottimo esempio di variabile regionalizzata. Dalla conoscenza dello stato meteorologico di un sito è possibile, quindi, stimare con buona approssimazione i valori che la grandezza può assumere nell'intorno geografico di quel punto. In termini statistici si può affermare che le misure meteorologiche rilevate da coppie di stazioni limitrofe presentano una correlazione quasi mai nulla.

La metodologia geostatistica (kriging) utilizzata per l'Analisi Oggettiva consente di attribuire ai dati presenti nell'intorno di stima di ogni nodo di griglia specifici "coefficienti peso" calcolati sulla base della continuità spazio-temporale espressa dalla grandezza meteorologica presa in esame. Nel dominio geografico di analisi, il modello strutturale della grandezza è rappresentato da una funzione analitica dipendente esclusivamente dalla distanza, dall'orientamento e dalla differenza di quota tra una qualsiasi coppia di punti (funzione variogramma). In considerazione di ciò, la stima delle grandezze meteorologiche ai nodi di una griglia georeferenziata può essere ottenuta mediante combinazione lineare pesata dei dati conosciuti. In questo modo vengono introdotti nella stima anche alcuni fra i fattori morfologici ed orografici del territorio che più condizionano gli eventi meteorologici come, ad esempio, le direttrici morfologiche della Pianura Padana (una distanza misurata lungo la direzione Nord-Sud è caratterizzata da una più ampia variabilità meteorologica locale e da un maggiore gradiente climatico rispetto ad una stessa distanza misurata lungo la direzione Est-Ovest), o l'allineamento della dorsale appenninica con la linea di costa nel Centro Italia.

Ovviamente, il modello strutturale dipende anche dal periodo dell'anno considerato. Nei mesi invernali gli eventi meteorologici presentano maggiori

<sup>2</sup> "Analisi Oggettiva" studio eseguito nel 1988-1990 i cui risultati sono stati pubblicati nel rapporto SIAN "Analisi climatologica e progettazione della Rete Agrometeorologica Nazionale" - Aprile 1990 e nell'articolo "Geostatistical analysis of the average temperature fields in North Italy in the period 1961 to 1985", A. Liberta e A. Girolamo - Séminaire CFSG sur la Géostatistique, Giugno 1989 e pubblicato sulla rivista Science de la Terre Sér. Inf. Nancy 1991, pp 1-36 e "Time Coregionalization model for the analysis of meteorological fields: an application in northern Italy", A. Liberta e A. Girolamo - 2<sup>nd</sup> CODATA Conference on Geomathematics and Geostatistics, Science de la Terre, Sér. Inf. Nancy 1992, pp 93-119.

variazioni temporali ed una maggiore continuità spaziale, mentre nei mesi estivi la correlazione spaziale tra le misure risulta generalmente più bassa. Il grado di continuità spaziale degli eventi meteorologici influenza la precisione dei dati stimati ai nodi di griglia, il che porta ad una maggiore indeterminatezza della stima quanto più caotiche sono le variazioni spazio-temporali (ovvero minore correlazione spaziale) della grandezza. Localmente, lo scostamento dei dati stimati dal reale stato fisico della variabile meteorologica è tanto maggiore quanto più elevata è la varianza di stima. Questo parametro statistico esprime l'affidabilità della stima e misura la variazione media tra il dato stimato e quello reale.

La varianza di stima, oltre a dipendere fortemente dal modello strutturale, cresce al diminuire della disponibilità dei dati rilevati (numero delle stazioni di misurazione) e al diminuire della dimensione unitaria della griglia di analisi (distanza tra i nodi). Questi concetti teorici sono estremamente importanti, poiché tutte le conclusioni e le considerazioni dedotte dall'analisi dei dati stimati (modello numerico) non possono trascurare la presenza dell'errore di stima che è intrinseco a qualsiasi metodologia di calcolo.

Il kriging, nonostante comporti un certo "effetto smoothing" alle scale di maggior dettaglio, rimane comunque un metodo di stima corretto: l'errore medio di stima è nullo e lo scarto tra la media dei dati stimati e la media dei dati reali tende a zero tanto più è esteso il dominio di analisi che, proprio nel caso del presente lavoro, è rappresentato dall'intero territorio nazionale. Per ulteriori dettagli al riguardo, si rimanda a Perini *et al.* (2004) e Salvati *et al.* (2005).

I dati meteo-climatici utilizzati in questo lavoro costituiscono la serie completa dei valori giornalieri (circa 40 milioni di dati) di temperatura dell'aria (minima e massima), precipitazione piovosa, eliofania, umidità relativa e velocità del vento (a 10 m) stimati su 544 punti (nodi di griglia) del territorio italiano (figura 4.1) distribuiti omogeneamente sulla base di uno schema regolare denominato "Griglia Italia". Ciascun nodo di griglia rappresenta pertanto il centroide della *cella meteo* di circa 30 Km di lato. I dati climatici sono stati aggregati in base a due periodi di riferimento: il 1961-1990 ed il 1971-2000. Il primo di tali periodi (1961-1990) corrisponde al trentennio indicato dall'Organizzazione Meteorologica Mondiale (OMM/WMO) quale riferimento convenzionale per le analisi ed i confronti climatologici.

## 4.2 SUOLO

Le variabili pedologiche sono state desunte principalmente dalla banca dati tenuta dal Centro Nazionale di Cartografia Pedologica (CNCP) istituita presso il Centro di Ricerca per l'Agrobiologia e la Pedologia del Consiglio per la





Figura 4.1 – La griglia in uso presso CRA-CMA per la spazializzazione stocastica delle grandezze meteorologiche (da Perini *et al.* 2004)

Ricerca e la Sperimentazione in Agricoltura (CRA-ABP)<sup>3</sup>. Tali informazioni sono state integrate da altre fonti (in particolare dalla Carta Nazionale della Capacità Idrica dei Suoli Agrari del MIPAAF (“CellePedo”), dalla Carta Nazionale dell’erosione potenziale ed attuale del MATTM, dalla Carta Geologica d’Italia del Servizio Geologico Nazionale<sup>4</sup>. Ulteriori fonti di dati – come ad esempio la Carta Ecopedologica d’Italia del JRC-Ispra<sup>5</sup>, l’European Soil Database<sup>6</sup>, Cartografia delle soil regions con indicazione dei regimi idrici dei suoli del CRA-ABP; (cfr. Salvati *et al.*, 2005) – sono state comunque tenute in conto nella predisposizione del database finale.

Dall’insieme delle informazioni disponibili, sono state selezionate le variabili pedologiche ritenute di maggiore rilevanza per l’identificazione delle aree vul-

<sup>3</sup> Le elaborazioni relative agli indicatori pedologici sono state effettuate nell’ambito di un incarico affidato al Dott. Ferdinando Urbano con la supervisione del Dott. Edoardo Costantini dello stesso CRA-ABP

<sup>4</sup> Si tratta della carta mosaicata e restituita alla scala 1:500.000. Servizio Geologico d’Italia. Carta geologica d’Italia 1:500.000 – Fogli 1-5, 1976-1984. Ed Istituto Poligrafico e Zecca dello Stato.

<sup>5</sup> A scala 1:250.000 [http://eusoils.jrc.it/library/esdac/Esdac\\_DetailData2.cmf?id=33](http://eusoils.jrc.it/library/esdac/Esdac_DetailData2.cmf?id=33)

<sup>6</sup> Con risoluzione delle celle pari a 10 km o 1 km [Http://eusoils.jrc.it/ESDB\\_Archive/ESDB/index.htm](Http://eusoils.jrc.it/ESDB_Archive/ESDB/index.htm)

nerabili alla desertificazione. Si è tenuto conto, in prima battuta, dei fattori utilizzati nel progetto MEDALUS (approccio ESA). Sono stati considerati anche altri fattori ritenuti comunque importanti e già utilizzati in lavori presenti nella letteratura specifica.

In particolare, le caratteristiche del suolo considerate sono state la profondità radicabile, la capacità di ritenuta idrica (AWC), la pietrosità superficiale, la tessitura e il drenaggio esterno. Per la definizione di queste caratteristiche si fa riferimento a Gardin *et al.* (2002).

A queste variabili pedologiche se ne sono aggiunte altre, derivate da altre fonti, quali il contenuto in carbonio organico, lo scheletro, il rischio erosione idrica ed il substrato geologico (materiale parentale). Sulla base dei dati raccolti, per procedere alla caratterizzazione pedologica del territorio nazionale è stato sviluppato un approccio innovativo rispetto a quello seguito in altri analoghi progetti. Infatti, piuttosto che procedere alla parametrizzazione delle classi tipologiche di suolo fornite dalle cartografie pedologiche tradizionali (disponibili dalla scala 1:1.000.000 fino alla scala 1:25.000, a seconda della disponibilità e dell'estensione dell'area analizzata) per ricavare dei parametri funzionali dalle varie categorie tassonomiche, si è partiti dalla banca dati CNCP al fine di produrre le elaborazioni a livello nazionale. Nella banca dati, durante la realizzazione di questo progetto, erano presenti 28.098 osservazioni.

Poiché per la valutazione della vulnerabilità alla desertificazione, le variabili pedologiche devono essere rappresentate da una distribuzione continua nello spazio, si è dovuto ricercare il metodo di interpolazione delle osservazioni puntuali più confacente agli obiettivi progettuali e alla qualità/disponibilità di dati. Per ottenere questo tipo di distribuzione è possibile impiegare metodi che afferiscono al campo della statistica applicata e che hanno lo scopo di stimare il più fedelmente possibile, a partire dai valori noti della variabile in alcune posizioni, i valori incogniti della stessa variabile in tutta l'area d'interesse. Le tecniche di spazializzazione si distinguono secondo l'algoritmo di calcolo usato. In questo contesto, i dati pedologici reali puntuali sono stati spazializzati con un modello predittivo basato sul paradigma suolo (Hudson, 1992), che si appoggia sugli elementi poligonali dei sistemi di terre come unità geografiche di riferimento. Questa metodologia trova riscontro a livello internazionale sullo studio dei metodi di cartografia numerica delle relazioni fra il suolo e il suo ambiente (Mc Bratney *et al.* 2003).

Come detto, i dati pedologici utilizzati sono stati 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 sui suoli in 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 (CNCP 2004). 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. Essendo la correlazione dei suoli e la loro organizzazione in unità tipologiche ancora in corso alla data di realizzazione di questo studio, sono stati utilizzati i dati dei singoli suoli, raggruppati per ambienti pedo-paesaggistici simili in riferimento al livello di generalizzazione richiesto dello studio.

Per ogni dato puntuale sono definiti i fattori ambientali della pedogenesi (morfologia, litologia, uso del suolo), la regione pedologica e il sistema di terre d'appartenenza semantica. Questi dati determinano la componente territoriale di cui il suolo è espressione. I caratteri e le qualità del suolo hanno una evidente variabilità spaziale. Il contenuto in argilla, ad esempio, 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. Si riconosce anche una variabilità temporale: le proprietà del suolo possono infatti variare in tempi brevi (ad esempio il contenuto idrico) o lunghi (la ritenzione idrica al punto d'appassimento); in modo continuo, discontinuo o ciclico. Vi sono, infine, altre fonti di variabilità legate al campionamento e agli errori d'analisi o di stima.

Il metodo diffuso per apprezzare la variabilità spaziale di un carattere pedologico si basa sulla constatazione che la struttura spaziale delle variabili non cambia in modo casuale, ma è strettamente 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 sul cosiddetto “*paradigma suolo*” (Hudson, 1992).

I contenitori geografici che esprimono la combinazione dei fattori pedogenetici e della loro struttura spaziale ricorrente 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.

L'organizzazione spaziale delle informazioni pedologiche avviene a diversi livelli geografici (cui corrispondono specifici livelli di generalizzazione dell'informazione): dal più generale (scala di riferimento 1:5.000.000) finalizzata alla correlazione europea, fino a quella di dettaglio (scala di riferimento 1:10.000-1:25.000) per applicazioni locali. Esiste quindi un sistema di banche dati in cui sono codificati in modo gerarchico i legami tra i suoli e il paesaggio a diversi livelli geografici e di generalizzazione pedologica (tabella 4.2). Le relazioni tra i livelli pedopaesaggistici sono logiche e semantiche, più che strettamente 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 delimitazione dei poligoni alla scala di riferimento 1:5.000.000.

Le unità pedogeografiche vengono definite come “di terre” quando l'informazione sui suoli è generica ed è trattata come descrittiva all'interno della banca dati geografica, “pedologiche” quando l'informazione pedologica è orga-

Tabella 4.2 – Zonizzazione delle unità spaziali di natura pedologica

Ambito di applicazione	Livello pedopaesaggistico	Scala di riferimento
Continentale / Nazionale	Soil regions – Regioni pedologiche	1:5.000.000
Continentale / Nazionale / Regionale	Soil subregions – Province 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

nizzata in una banca dati specifica ed è collegata alla banca dati geografica. Soil regions e subregions sono livelli pedopaesaggistici di cui esiste una banca dati europea. Ogni poligono di ogni livello geografico collegato ad una banca dati pedologica è individuato sia in funzione dei suoi attributi discriminanti, sia dalla combinazione di componenti territoriali esistenti al suo interno. Ogni poligono può contenere al suo interno un insieme di ambienti riconoscibili, ma non delineabili a quella scala di riferimento. 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. Le componenti territoriali non hanno una geografia definita e non coincidono necessariamente con le unità del livello geografico 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 sistemi di terre.

Per ulteriori dettagli sulla metodologia di creazione dei sistemi di terre si rimanda a Costantini *et al.* (2003) e alla relazione tecnica conclusiva del progetto Atlante Nazionale delle aree a rischio di desertificazione (Costantini *et al.*, 2007).

Le **regioni pedologiche** sono il primo livello della gerarchia dei pedopaesaggi. La scala di riferimento 1:5.000.000 consente 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 (Finke *et al.*, 1998). 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 il regime idrico e termico dei suoli (USDA, 1999), morfologia, tipi di suolo maggiormente presenti, loro capacità d'uso, limitazioni permanenti e processi di degradazione più importanti. Lo strato geografico vettoriale delle regioni pedologiche con tutta la documentazione è disponibile sul sito del CNCP ([www.soilmaps.it](http://www.soilmaps.it)).

I **sistemi di terre** rappresentano una suddivisione del territorio italiano in paesaggi la cui scala di riferimento è 1:500.000. Sono costituiti 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.

In particolare, poligoni con uguale morfologia e litologia, ma diversa configurazione di uso del suolo, acquistano un codice identificativo diverso. Ogni sistema di terre delineato è descritto da una serie di attributi che fanno riferimento ad una legenda specifica per questo livello di generalizzazione. 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 funzionali ai processi pedogenetici, analogamente a quanto avviene per la copertura del suolo. 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 componenti territoriali che compongono il sistema, riconosciute geograficamente mediante sovrapposizione delle banche dati relative. La copertura dei sistemi di terre sul territorio nazionale è riportata in Figura 4.2.

Più in dettaglio, 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 sistemi di terre (che contiene l’informazione



Fig. 4.2 – Copertura attuale dei sistemi di terra

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 sistema, intesa come combinazione di morfologia, litologia ed uso del suolo. Analogamente, per ogni poligono di sistema di terre 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 (regione pedologica e sistema di terre). I meccanismi d'attribuzione dell'informazione pedologica ad ogni componente territoriale di ogni poligono di ciascun sistema di terre sono tre:

- 1) alla componente territoriale si legano le osservazioni pedologiche (profili, pozzetti, trivellate) presenti in quel poligono e che hanno i suoi stessi attributi geografici, cioè che hanno gli stessi codici di morfologia, litologia e copertura del suolo;
- 2) se non vi sono osservazioni con tali attributi geografici nel poligono, alla componente territoriale si legano le osservazioni con quei attributi geografici presenti negli altri poligoni appartenenti allo stesso sistema di terre;
- 3) se non vi sono osservazioni con tali attributi geografici nel sistema di terre, alla componente territoriale si legano le osservazioni con quei attributi geografici presenti negli altri poligoni appartenenti alla stessa regione pedologica. I tre livelli d'attribuzione hanno un livello d'attendibilità decrescente. Tutti i poligoni a cui non è stato possibile riferire un dato pedologico sono segnalati come aree non valutabili.

La tabella di legame fra poligoni e profili è generata automaticamente dal software CNCP2004. Questo permette un rapido aggiornamento della cartografia pedologica con l'acquisizione di nuovi dati (Costantini *et al.*, 2005; vedere anche articoli e materiale disponibile sul sito [www.soilmaps.it](http://www.soilmaps.it)).

Per quanto concerne l'elaborazione degli strati informativi delle variabili pedologiche i dati puntuali contenuti nella banca dati nazionale dei suoli sono stati spazializzati con la metodologia sopra esposta e trasformati in raster con celle di risoluzione di 1.000 metri, coerente con la scala di riferimento dei sistemi di terre (1:500.000). Per la profondità radicale, la capacità di ritenuta idrica (AWC) e la pietrosità superficiale, caratterizzati da valori continui, è stato elaborato per ogni cella il valore medio, la mediana, la deviazione standard ed è stato indicato il numero di dati puntuali utilizzati per il calcolo delle statistiche. Per il drenaggio superficiale e la tessitura, il set di dati elaborato comprende il numero di osservazioni pedologiche puntuali associato ad ogni data classe nel determinato pixel e il numero totale di profili di suolo associati al pixel (da cui è possibile ricavare il valore modale). Sia per le variabili descritte da valori continui, sia per quelle descritte da classi, è stata attribuita ad ogni pixel un'indicazione del livello di rappresentatività geografica del dato

(qualità), in quanto all'interno dei singoli pixel (derivati dalla rasterizzazione dei poligoni dei sistemi di terre) possono esserci ambienti molto diversi. Il valore "qualità" indica se la statistica è riferita all'ambiente dominante (1), o in assenza di dati su questo, all'ambiente secondario (2) e così via, fino al settimo ambiente per livello di importanza. Le aree senza dati possono riferirsi sia a zone effettivamente non caratterizzate da nessun dato pedologico in banca dati, sia da zone dove ancora non sono stati definiti i sistemi di terre o da superfici idriche e aree urbane<sup>7</sup>.

In generale i dati sono stati elaborati in modo da consentire ulteriori elaborazioni previste (quali ad esempio l'applicazione di tecniche di analisi multivariata). Inoltre per il drenaggio la classificazione adottata è tale da poter essere confrontata con quella comunemente in uso nelle più importanti applicazioni della metodologia MEDALUS/ESA. I dati pedologici puntuali disponibili al momento delle elaborazioni sono stati 24.501 per la profondità radicabile, 13.523 per la capacità di ritenuta idrica (AWC), 20.307 per la pietrosità superficiale, 24.781 per la tessitura e 13.126 per il drenaggio esterno. In termini di copertura territoriale a livello nazionale questo si traduce in percentuali tra il 76% e il 73% per le variabili tessitura, profondità, AWC e pietrosità. Tuttavia il dato di drenaggio ha una copertura limitata al 58%.

Infatti va considerato che:

- come già anticipato, non tutto il territorio nazionale risulta coperto dai "sistemi di terre". Sono escluse la Liguria e buona parte dell'arco alpino e delle zone pre-alpine di Piemonte, Lombardia, Veneto e Friuli-Venezia Giulia. Inoltre, risultano esclusi del tutto la Val d'Aosta ed il Trentino Alto-Adige.
- vi sono aree per le quali non esistono rilevazioni nella base di dati dei suoli<sup>8</sup> o per le quali non è stato possibile assegnare un dato a partire dai "sistemi delle terre", secondo il modello predittivo proposto. Il numero di celle con dati validi varia pertanto a seconda della specifica variabile pedologica considerata.
- alle aree con dati mancanti prima definite vanno aggiunte i corpi idrici e le aree urbane, che non sono comunque oggetto di valutazione.

Sempre con riferimento alla variabile drenaggio ed in considerazione della

<sup>7</sup> Per la gestione e l'elaborazione dei dati pedologici al fine di produrre le informazioni necessarie al progetto è stato realizzato un sistema informativo geografico basato sul database PostgreSQL con la sua estensione geografica Postgis, dove sono stati importati i dati provenienti dalla banca dati nazionale dei suoli e gli elementi geografici dei sistemi di terre, organizzati e strutturati secondo un opportuno modello dati. Per le elaborazioni statistiche e geostatistiche, PostgreSQL è stato collegato a MS Access tramite un driver ODBC e al software statistico R. Per la conversione dei dati in formato raster è stato usato Grass, mentre per la visualizzazione dei dati il riferimento è stato QuantumGIS.

<sup>8</sup> Il rilevatore non sempre registra tutti i caratteri del suolo, quindi il numero di dati utilizzato varia secondo la specifica variabile pedologica considerata.



sua limitata copertura territoriale, sono state identificate nella banca dati dei suoli CNCP un training set di c.a. 12.000 suoli con valori di drenaggio noti ed una serie di variabili ancillari correlate (sabbia, argilla, limo, pendenza, uso del suolo), utili per l'applicazione di un modello predittivo sulle aree precedentemente non valutate<sup>9</sup>. Questo ha consentito di incrementare la copertura dal 58% al 76% c.a. del territorio nazionale. La non completa copertura dei dati provenienti dalla banca dati CNCP ha suggerito di operare una integrazione con altre fonti di dati. A questo fine è stata utilizzata la già citata banca dati MIPAF realizzata dal Consorzio-ITA, che presenta una risoluzione celle di 8 km × 8 km ed alcune delle variabili già contemplate nella banca dati CNCP.

Per quanto attiene alla banca dati MIPAAF la definizione delle unità di suolo-paesaggio è stata realizzata integrando l'informazione litologica dedotta dalla Carta Geologica 1:100.000 e l'insieme delle caratteristiche fisiografiche desumibili da immagini da satellite prodotte alla stessa scala. Quando disponibili, sono state utilizzate anche altre carte con informazioni sui suoli a carattere regionale o locale. In relazione alle esigenze di rappresentazione dei suoli italiani, le principali variabili pedologiche sono state elaborate per realizzare una opportuna rappresentazione spaziale. L'unità di riferimento è una cella ("Cella pedo") che, come già accennato, ha superficie pari a 64 km<sup>2</sup>. Il numero di celle che copre il territorio italiano è pari a 5.226. Di queste, 4.479 presentano informazioni pedologiche associate, mentre le rimanenti 747 sono prive di informazioni in quanto non intersecano nessuna unità suolo-paesaggio agricola. Il valore delle variabili pedologiche attribuito a ciascuna cella è stato stimato come media ponderata dei valori nelle unità di suolo-paesaggio che intersecano la cella utilizzando, come fattore di ponderazione, la superficie delle unità nella cella.

Vi sono, infine, celle che ricadono in buona parte su terreni non agricoli e che quindi hanno solo piccole intersezioni con unità suolo-paesaggio agricole (celle al bordo dei confini nazionali e celle che includono ampie superfici a bosco, acque interne, aree artificiali, pascoli, etc.). In queste situazioni i valori attribuiti all'intera cella derivano dalla porzione occupata esclusivamente dalle superfici agricole le cui proprietà, come ad esempio la profondità del terreno o la percentuale di scheletro, possono essere molto diverse (generalmente migliori) rispetto alle proprietà dei terreni non agricoli che complessivamente occupano la cella.

Il fattore "materiale parentale" o "substrato geologico" viene generalmente incluso nelle valutazioni che utilizzano l'approccio MEDALUS/ESA. Per questo motivo si è deciso di considerarlo tra i fattori utilizzati in questa valutazione nella quale si farà più correttamente riferimento al "substrato", informazione

<sup>9</sup> È stato utilizzato il modello randomForest (implementato in R): Breiman, L. (2001), Random Forest, Machine Learning 45(1), 5-32. [http://oz.berkeley.edu/users/breiman/Using\\_random\\_forests\\_V3.1.pdf](http://oz.berkeley.edu/users/breiman/Using_random_forests_V3.1.pdf)

derivabile dalla Carta geologica d'Italia 1:500.000. Le carte sono state riclassificate per tener conto del diverso grado di predisposizione delle litologie rappresentate. In particolare è stata operata una suddivisione tra litologie più o meno consolidate (queste ultime più erodibili e quindi maggiormente predisponenti). Il dato relativo alla salinizzazione, non essendo questa informazione contenuta in alcuna delle banche dati disponibili<sup>10</sup>, ha richiesto una elaborazione ad *hoc*. È stato elaborato un approccio basato su GIS che, nel valutare il rischio di salinizzazione, tiene conto di variabili ancillari quali indice di aridità, morfologia del terreno, distanza dal mare, tessitura ed uso del suolo, drenaggio, pratiche colturali e tipologie di gestione irrigua.

Per quanto concerne i fenomeni erosivi, la carta nazionale dell'erosione è stata elaborata dal JRC Ispra e dall'European Soil Bureau nel 1999 e fornisce una serie di elementi per la valutazione del rischio di erosione in Italia. Lo studio si basa sulla Universal Soil Loss Equation (USLE, Wischmeier & Smith 1978), derivandone i diversi fattori che intervengono nella equazione da dati elementari forniti da varie fonti nazionali.

#### 4.3 COPERTURA DEL SUOLO E VEGETAZIONE

Il dato relativo alle componenti vegetazione ed uso del suolo è stato ricavato dal progetto Corine Land Cover (CLC) acronimo di COoRdination of INformation on the Environment, relativo sia alla copertura 1990 che a quella più recente datata 2000. Il progetto Image & CORINE Land Cover 2000 (I&CLC2000) è un'iniziativa comunitaria coordinata dall'Agenzia Europea dell'Ambiente e dal JRC di Ispra. Il progetto ha realizzato l'aggiornamento del database europeo relativo alla copertura del suolo (scala 1:100.000), attraverso l'interpretazione di immagini satellitari acquisite da satellite Landsat 7. Per quanto riguarda l'Italia, l'APAT ha svolto il ruolo di National Authority coordinando il lavoro effettuato a livello regionale (APAT 2005). Il progetto fornisce una copertura del suolo con caratteristiche omogenee a livello europeo, basata su 44 classi. Le unità minime cartografate hanno una superficie di 25 ettari. La scala di rappresentazione finale è 1:100.000. In aggiunta alla copertura del 2000, è stata decisa la totale revisione della vecchia copertura CLC90, in ragione della sua eterogeneità e bassa accuratezza. La nuova copertura CLC90 è invece rispondente agli standard di riferimento del progetto CORINE (unità minima cartografabile, sistema di nomenclatura, accuratezza, etc.). La metodologia di classificazione standard CLC, è organizzata gerarchicamente a partire

<sup>10</sup> Non sono ad oggi disponibili vere e proprie cartografie dei suoli salini in Italia. Esistono tuttavia studi che forniscono elementi utili quali quello di Dazzi (2005) e lo stesso Atlante Nazionale del Rischio di Desertificazione (Costantini *et al.* 2007).

da un primo fino ad un terzo livello e prevede: 44 classi al terzo livello, 15 classi al secondo livello e cinque al primo livello. Gli indicatori legati a vegetazione e uso del suolo sono stati elaborati tramite riclassificazione del Corine Land Cover, sulla base di criteri già adottati in esperienze di applicazione ESA/MEDALUS o sviluppati ex-novo.

#### 4.4 PRESSIONE ANTROPICA: DEMOGRAFIA, AGRICOLTURA, INDUSTRIA, TURISMO

Un'altra dimensione di rilevante interesse empirico negli studi sulla desertificazione è rappresentata dalla componente socio-economica (e.g., Enne et al. 2000). Tale componente appare, in taluni studi, sottostimata rispetto alla componente 'geo-fisica' (e.g. Salvati & Zitti 2005). L'analisi condotta da Ceccarelli *et al.* (2006) conferma la predominanza delle variabili fisiche rispetto a quelle antropiche nelle esperienze cartografiche a livello nazionale. È evidente, pertanto, la necessità di riequilibrare tale situazione, anche a fronte dei forti legami del fenomeno in questione con i processi sociali (e.g., migrazioni), demografici (e.g., pressione umana), economici (e.g., impatto dell'agricoltura e del turismo, inquinamento delle acque, rischio industriale). Molti indicatori socio-demografici sono stati inoltre proposti nel progetto DesertLinks (e.g., Geeson *et al.* 2003), la maggior parte dei quali appare idonea ad una rappresentazione cartografica a scala comunale o sub-comunale.

I principali vincoli all'uso di indicatori cartografici di natura socio-economica appaiono legati alla disponibilità di informazioni aggiornate a scala geografica compatibile con quella raggiunta per la mappatura dei dati geo-fisici. A questo proposito, le fonti statistiche più interessanti per costruire indicatori di desertificazione sono rappresentate dai Censimenti Generali organizzati dall'ISTAT con cadenza decennale. L'aggiornamento decennale delle informazioni appare sufficientemente accurato e l'aggregazione spaziale minima disponibile può raggiungere un dettaglio soddisfacente dal punto di vista cartografico. Si pensi infatti alla possibilità di utilizzare dati aggregati per comune o sezione di censimento, che rappresentano domini spaziali dettagliati e che si adattano ad un confronto di scala con le informazioni geo-fisiche (Ceccarelli *et al.* 2006).

L'individuazione dei singoli indicatori può attuarsi tramite la considerazione di un numero limitato di aree tematiche quali, ad esempio: pressione antropica (demografia, turismo), impatto dell'agricoltura (irrigazione, assetto dello spazio rurale, imprenditorialità, etc.), rischio industriale.

Per quanto concerne la stima della componente relativa alla pressione antropica, in questa ricerca si è fatto uso principalmente di dati censuari di fonte ISTAT e di altre statistiche ufficiali. In particolare, sono stati utilizzati i Censimenti della Popolazione e delle Abitazioni per la quantificazione degli aspetti demografici, dell'insediamento umano e del mercato del lavoro agricolo, i cen-

simenti dell'industria per quanto concerne la pressione turistica, il carico organico e le attività estrattive, i censimenti dell'agricoltura per la determinazione delle principali pressioni del settore primario sull'ambiente. I censimenti economici, fra cui grande rilevanza riveste il Censimento demografico, vengono svolti con cadenza decennale ed acquisiscono informazioni dettagliate relative ad aspetti demografici e socio-economici della popolazione. I dati di base possono essere aggregati al livello geografico desiderato (nel nostro caso è stata scelta la scala comunale), sono di facile reperibilità e la loro attendibilità e versatilità d'uso appare elevata.

Il dataset dei dati demografici utilizzato in questa applicazione deriva dagli ultimi tre Censimenti Generali della Popolazione e delle Abitazioni (1981-2001). Per quanto riguarda i dati relativi ai censimenti anteriori a quello del 2001, abbiamo utilizzato i dati della popolazione georeferenziati a livello comunale (al netto delle variazioni dei confini amministrativi comunali intercorse nei periodi inter-censuari) secondo la pubblicazione ISTAT (1994). Abbiamo inoltre utilizzato dataset appositamente predisposti a partire dai Censimenti dell'Industria e dei Servizi (1991-2001) e dai Censimenti dell'Agricoltura (1990-2000).

Per quanto concerne le altre informazioni relative alla pressione antropica, sono state consultate ed utilizzate le statistiche agrarie e forestali prodotte in ambito ISTAT con dettaglio provinciale o sub-provinciale, la banca dati sugli incendi del Corpo Forestale dello Stato con dettaglio comunale e la banca dati APAT sulle aree protette del territorio italiano. Tali banche dati hanno fornito dati elementari a livello comunale e/o puntuale, che sono stati successivamente aggregati in appositi indicatori.

## CAPITOLO 5

### GLI INDICATORI

*Causa latet, vis est notissima.  
(La causa è nascosta, l'effetto notissimo)*

OVIDIO

I principali processi di degradazione delle terre sono generalmente riconducibili all'erosione del suolo, alla sua sommersione, all'acidificazione, salinizzazione, sodicizzazione e sigillamento. Vanno considerati, tuttavia, anche i fenomeni di compattamento, formazione di croste superficiali e di strati compatti lungo il profilo, perdita di sostanza organica, deterioramento della struttura, accumulo di sostanze tossiche, nonché la perdita di elementi nutritivi (e.g., OECD 2004).

In Italia, una cospicua superficie territoriale presenta preoccupanti aspetti di degradazione dei suoli in virtù di una gestione territoriale non sempre corretta. Alla fine degli anni '90, secondo una prima valutazione promossa dal CNLSD, è risultato che *“le aree complessivamente sensibili alla desertificazione erano pari a 16.100 Km<sup>2</sup>, pari a circa il 5.3% del territorio nazionale”*<sup>1</sup>. Tali fenomeni sono più accentuati in quelle aree ove l'attività antropica è stata esercitata in forma invasiva nei riguardi dell'ecosistema, ovvero in modo non propriamente compatibile con i criteri fondamentali della conservazione del suolo e/o nel rispetto degli equilibri dell'ecosistema. Ad esempio, l'evoluzione che ha contraddistinto i sistemi produttivi agricoli italiani dal dopoguerra ai nostri giorni, benché abbia ottenuto indiscussi vantaggi per l'intera società in termini di qualità e quantità alimentare, ha prodotto, in taluni casi anche in maniera molto evidente, fenomeni di degradazione dei suoli (destrutturazione, compattamento, salinizzazione, etc.) ed inquinamento ambientale (da pesticidi, nitrati, reflui zootecnici, etc.).

In questo lavoro, l'analisi dei fenomeni di degrado dei suoli è stata affrontata attraverso l'uso di indicatori elementari ed indici sintetici. Alcuni di questi indicatori derivano dalla modellizzazione, anche complessa, dei fattori di vulnerabilità. Si pensi, ad esempio, all'erosione del suolo, stimata sulla base di un modello multidimensionale, e con forti implicazioni anche sugli altri sistemi di degrado delle terre. In alcuni particolari casi, la difficoltà di quantificare i fenomeni di degrado è stata superata attraverso l'adozione di indicatori *proxy*, ovvero indicatori correlati ma solo indirettamente al fenomeno in studio.

<sup>1</sup> *“l'ambiente informa”* mensile di informazione del Ministero dell'Ambiente, anno II n. 9, 1999.

## 5.1 INDICATORI DEL CLIMA

Il clima rappresenta un fattore fra i più rilevanti nel processo di degrado dei suoli e di desertificazione. L'aggressività climatica è la principale causa dei fenomeni erosivi e franosi, nonché degli episodi alluvionali e di ciò che ne consegue per gli ecosistemi. Il clima, pur costituendo in generale un'importante risorsa, può rivelarsi anche un fattore limitante per la crescita della vegetazione a causa di un inadeguato regime termico e/o insufficienti apporti meteorici. In sovrapposizione alla fisiologica mutevolezza dei fenomeni atmosferici, dovuti alla stagionalità degli andamenti climatici e alla variabilità più o meno casuale dei singoli eventi meteorologici, negli ultimi 15-20 anni si è aggiunto un ulteriore elemento di complessità che, da più parti, viene evocato come un vero e proprio cambiamento climatico a scala globale. La sensazione che il clima stia cambiando (o sia già cambiato) rappresenta ormai una precisa certezza nella pubblica opinione, condivisa e suffragata anche da larga parte del mondo scientifico. Al di là delle effettive implicazioni degli eventi meteo-climatici sui processi di desertificazione, un ulteriore elemento da considerare è rappresentato dalla *percezione soggettiva* che si ha del clima e del cambiamento climatico. Nel caso specifico dell'agricoltura, ad esempio, un atteggiamento totalmente "negazionista" o, al contrario, eccessivamente "catastrofista" possono condurre, nel primo caso, ad uno sfruttamento non sostenibile delle risorse naturali rinnovabili, nel secondo ad un abbandono repentino delle terre: in entrambi i casi si avrebbero gravi conseguenze in termini di degrado dei suoli.

Conseguenza diretta dell'incremento della temperatura è un maggior riscaldamento del suolo, mentre i più intensi flussi evapotraspirativi aggravano i processi di salinizzazione e di degrado della sostanza organica, soprattutto nel caso delle colture arative. Uno degli aspetti più significativi della dimensione climatica collegato ai processi di degrado dei suoli, è pertanto rappresentato dalla *siccità*. Gli episodi di siccità, determinati sia dal ridotto apporto meteorico sia dall'aumento della temperatura dell'aria, contribuiscono nel complesso a rendere il suolo più vulnerabile, in termini di degrado della sostanza organica e della sua struttura.

Da un'analisi condotta a livello nazionale sui totali annui medi di precipitazione piovosa registrati nel periodo 1951-2000 (Perini e Ranuzzi, 2002) si è potuto evidenziare una tendenza generale e progressiva alla diminuzione dei quantitativi di pioggia caduti. La flessione degli apporti piovosi ha interessato soprattutto la stagione invernale e quella primaverile con riduzioni rispettivamente di circa 1.0 e 0.6 mm/anno. Il confronto (Tabella 5.1), effettuato fra dati aggregati per macroaree e per stagione, mostra che il trend negativo delle precipitazioni ha subito una brusca accelerazione nel decennio 1991-2000. Nelle regioni settentrionali, ad esempio, le più marcate diminuzioni di precipitazione si sono avute, ancora una volta, in Inverno (-39%) e in Primavera (-30%),

Tabella 5.1 – Totali medi di precipitazione e relative variazioni (Perini e Ranuzzi, 2002)

<b>Nord</b>	<b>Primavera</b>	<b>Estate</b>	<b>Autunno</b>	<b>Inverno</b>	<b>Anno</b>
<i>media 1951-90 (mm)</i>	228,4	252,3	256,7	162,0	899,4
<i>media 1991-00 (mm)</i>	159,9	208,3	290,1	99,1	757,4
<i>variazione</i>	-30%	-17%	13%	-39%	-16%
<b>Centro</b>	<b>Primavera</b>	<b>Estate</b>	<b>Autunno</b>	<b>Inverno</b>	<b>Anno</b>
<i>media 1951-90 (mm)</i>	177,5	102,1	264,9	232,2	776,7
<i>media 1991-00 (mm)</i>	154,1	85,0	292,4	153,6	685,2
<i>variazione</i>	-13%	-17%	10%	-34%	-12%
<b>Sud</b>	<b>Primavera</b>	<b>Estate</b>	<b>Autunno</b>	<b>Inverno</b>	<b>Anno</b>
<i>media 1951-90 (mm)</i>	140,0	65,8	227,8	219,1	652,8
<i>media 1991-00 (mm)</i>	117,4	51,7	204,2	166,4	539,7
<i>variazione</i>	-16%	-22%	-10%	-24%	-17%

mentre in autunno si è registrato un (+13%) a parziale ma non sufficiente recupero delle perdite registrate nel resto dell'anno. Le precipitazioni estive, pur subendo un certo calo (-17%), persistono comunque su livelli importanti (oltre i 200 mm complessivamente nei mesi di giugno, luglio e agosto). Al Nord, in totale, le mancate precipitazioni sull'intero anno assommano mediamente a -142 mm. Anche al Centro e al Sud le maggiori flessioni di precipitazione si accentrano in Inverno e Primavera ma, in questo caso, i mancati apporti di pioggia, oltre a penalizzare pesantemente le stagioni da cui climaticamente ci si attenderebbe il maggior contributo di acqua necessaria alla ricarica delle riserve idriche, vi è un più scarso recupero autunnale di apporti piovosi (Italia centrale), mentre al Sud, addirittura, le variazioni stagionali di precipitazione sono tutte di segno negativo.

Anche per quanto riguarda altri aspetti, come ad esempio il numero di giorni piovosi, è stata evidenziata nel cinquantennio 1951-2000 una riduzione media, a livello nazionale, di circa 4 giorni in Primavera, 3 in Estate, 3 in Autunno e ben 8 giorni in Inverno. È necessario specificare che, dall'analisi dei dati osservati nel decennio 1991-2000 rispetto al quarantennio precedente 1951-1990, emerge, in controtendenza, un incremento del numero dei giorni piovosi durante la stagione autunnale e ciò appare coerente all'aumento dei totali di precipitazione riscontrati nello stesso periodo come precedentemente illustrato.

Per quanto riguarda l'intensità di pioggia misurata su scale temporali inferiori al giorno, i risultati conseguiti dall'elaborazione di serie registrate in 20 stazioni della Rete Agrometeorologica Nazionale del SIAN nel periodo 1991-2003 evidenziano un incremento delle intensità medie a 10 minuti per la maggior parte delle stazioni e, in particolare, tutte le stazioni presentano valori elevati nell'ultimo triennio esaminato. Contestualmente, il trend degli eventi

estremi per intensità di pioggia a 10, 60 e 180 minuti è positivo per i 2/3 circa delle stazioni, sia per quanto riguarda il loro numero e sia in termini di massima precipitazione registrata in ciascun anno. Tali risultati rendono ulteriormente plausibile l'ipotesi che ci sia una tendenza di fondo all'aumento della frequenza degli eventi estremi per brevi intervalli di tempo, anche se tale ipotesi necessita di ulteriori conferme a causa della limitata lunghezza delle serie di dati disponibili (Perini *et al.* 2007).

Il trend delle precipitazioni estreme, relative alla scala di intensità giornaliera, conferma la tendenza all'acuirsi dei fenomeni piovosi estremi (*heavy rain*). Un'analisi condotta su 38 stazioni meteorologiche per il periodo 1951-2004 (Vento *et al.* 2006) mostra una significativa crescita delle quantità di pioggia giornaliera nell'arco dell'intero anno anche se si riconosce una maggiore prevalenza nel semestre autunno-vernino. Diversamente, il numero degli eventi intensi è fortemente incrementato nei mesi estivi e diminuito in quelli primaverili.

I risultati relativi alle sequenze di giorni consecutivi senza pioggia (*dry spells*), ottenuti analizzando le lunghe serie storiche (1881-2000) di dati pluviometrici di alcune località italiane (Torino, Milano, Genova, Bologna, Pesaro, Roma e Palermo), mostrano un generale incremento della durata media dei giorni consecutivi di non pioggia (fino al +7% di variazione trentennale media) ed un aumento significativo della durata media (fino al +24%) e della durata massima (fino al +48%) rilevata nel trentennio 1971-2000 rispetto al 1881-1910, in special modo nel semestre invernale. L'incremento è diffuso anche in termini di numero di dry spells, che, sempre considerando il confronto tra il trentennio 1971-2000 ed il trentennio 1881-1910, arriva fino al +49%. In generale, i risultati portano a ritenere molto consistente l'ipotesi che sia in atto una generalizzata dilatazione dei periodi di assenza di precipitazione ed, in particolare, un significativo aumento dei casi di periodi secchi molto lunghi. Tali risultati rappresentano dei segnali negativi per gli aspetti che riguardano le risorse idriche, principalmente perché essi sono più significativi nel periodo durante il quale si costituiscono le riserve di acqua nei bacini (Di Giuseppe *et al.* 2005; Di Giuseppe *et al.* 2006).

Anche le analisi dei dati termometrici hanno evidenziato segnali significativi di variazione climatica (Perini & Ranuzzi, 2002). I trend di temperatura hanno mostrato, nella maggior parte dei casi, andamenti positivi e abbastanza diversificati per stagione dell'anno ed aree del Paese (Figg. 5.1 e 5.2). La tendenza più marcata, pari a circa +0.07 °C, è relativa alla stagione invernale e riguarda gli incrementi medi annui di temperatura massima e temperatura minima a carico delle regioni settentrionali.

Una procedura per valutare con oggettività la variabilità climatica è quella di guardare al passato, cioè alla "memoria storica" depositata presso i vari archivi meteorologici.

Per i processi di desertificazione, l'influenza del clima nelle zone aride e



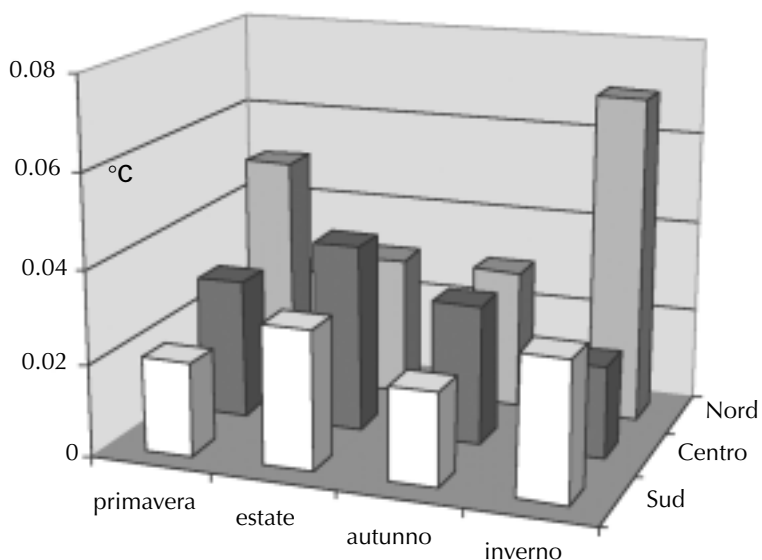


Fig. 5.1 – Incrementi medi annui di temperatura massima nel periodo 1951-2000 (Perini e Ranuzzi, 2002)

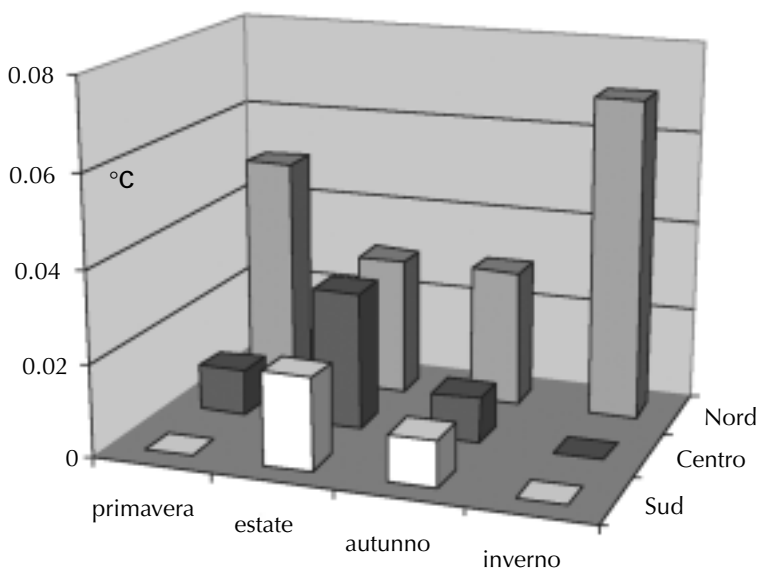


Fig. 5.1 – Incrementi medi annui di temperatura minima nel periodo 1951-2000 (Perini e Ranuzzi, 2002)

semi-aride del Mediterraneo è data dalle condizioni di crescente aridità, caratterizzate da sempre più frequenti annate siccitose. La distribuzione irregolare delle precipitazioni durante l'anno, la frequenza degli eventi estremi e la durata

irregolare della stagione vegetativa nell'ambiente mediterraneo sono i fattori principali che contribuiscono al degrado delle terre. Le condizioni atmosferiche che caratterizzano un clima desertico sono quelle che creano un severo deficit idrico, ad esempio, con valori di evapotraspirazione potenziale ( $ET_0$ ) maggiori rispetto agli apporti idrici sotto forma di precipitazioni.

In questo senso, le variabili di stato rispondono nel modello DPSIR alla necessità di fornire un quadro completo relativamente alla configurazione climatica, mentre l'approccio multitemporale garantisce la valutazione dinamica dei fenomeni nell'ottica del cambiamento climatico (Tabella 5.2). Come variabile di risposta è stata considerata la pratica irrigua, che rappresenta un valido supporto all'agricoltura soprattutto nelle aree più siccitose e più aride. Tuttavia, tale variabile può indicare, in particolari condizioni agronomiche, una pressione sull'ambiente legata, ad esempio, al peggioramento della qualità delle acque e alla riduzione delle riserve soprattutto nei periodi di maggiore siccità. Pertanto, tra i fattori di degrado delle terre per salinizzazione (§ 5.3) sono state considerate, come variabili di pressione, sia il prelievo di risorse idriche da fonti sotterranee sia la gestione delle riserve a fini irrigui e, come fattori di risposta, la diversificazione delle fonti irrigue da parte delle aziende agricole.

La disponibilità delle risorse idriche a partire dall'input fornito al bilancio idrologico dagli apporti meteorici viene considerata attraverso l'analisi di diffe-

Tabella 5.2 – Indicatori elementari applicati allo studio dei fenomeni di degrado delle terre per cambiamenti climatici, unità di misura e periodo temporale di riferimento

Indicatore	Unità di misura	1990	2000
<i>Precipitazione totale media annua</i>	<i>mm</i>	X	X
<i>Indice di stagionalità delle precipitazioni</i>	<i>mm/mm</i>	X	X
<i>Indice di variabilità delle precipitazioni</i>	<i>coefficiente di variazione</i>	X	X
$ET_0$	<i>mm</i>	X	X
$ET_R$	<i>mm</i>	X	X
<i>Indice di umidità del suolo (Soil Moisture)</i>	<i>mm</i>	X	X
<i>Deficit pluviometrico</i>	<i>mm</i>	X	X
<i>Surplus/Runoff</i>	<i>mm</i>	X	X
<i>Sommatorie termiche (&gt; 10 e 5°C)</i>	<i>°C</i>	X	X
<i>Periodi secchi</i>	<i>n. giorni</i>	X	X
<i>Pioggia utile</i>	<i>%</i>	X	X
<i>Pioggia utile (USDA)</i>	<i>%</i>	X	X
<i>Indice di aridità (UNEP)</i>	<i>mm/mm</i>	X	X
<i>Indice di aridità corretto</i>	<i>mm/mm</i>	X	X
<i>SPI (freq. &lt; -0.99)</i>	<i>n. eventi</i>	X	X
<i>Temperature estreme (&gt;30, 32, 35°C)</i>	<i>n. giorni</i>	X	X

renti indicatori elementari, fra cui si segnalano il valore medio dell'ammontare annuo delle precipitazioni, la variabilità delle piogge, nonché la stagionalità (concentrazione) degli apporti stessi. Questi dati assumono significato sia in funzione della disponibilità idrica media dei territori oggetto di studio, sia dell'erodibilità dei suoli, legata all'aggressività delle precipitazioni.

#### 5.1.1 – *Precipitazione totale media annua*

Partendo dai dati giornalieri di precipitazione piovosa sono stati calcolati i totali mensili e poi annuali di precipitazione relativi a ciascun anno del trentennio analizzato. La climatologia annuale (per i periodi 1961-1990 e 1971-2000) per ciascuno nodo di griglia è stata calcolata come media dei valori annuali. L'ammontare delle precipitazioni ha un legame diretto con i processi di desertificazione. Secondo studi condotti da Kosmas (1998), valori di precipitazione annuale di 280-300 mm portano ad una maggiore perdita di suolo, secondo quanto risulta da alcuni rilievi effettuati in vari siti di studio. Nelle regioni caratterizzate da un cumulo annuo di precipitazione superiore a 300 mm, vi è la tendenza ad una maggiore perdita di sedimenti al diminuire delle precipitazioni. Infatti, il cumulo annuale e la distribuzione delle precipitazioni sono tra i principali fattori che determinano la produzione di biomassa. La riduzione delle precipitazioni, combinata con alti tassi di evapotraspirazione, riduce drasticamente il contenuto idrico del suolo disponibile per la crescita delle piante. La ridotta produzione di biomassa influenza direttamente il contenuto di sostanza organica del suolo e il grado di aggregazione e di stabilità degli orizzonti superficiali contro l'erosione.

#### 5.1.2 – *Indice di stagionalità delle precipitazioni*

L'aggressività climatica è funzione anche della distribuzione temporale delle piogge e della loro intensità. Per quanto concerne la stagionalità degli apporti meteorici, elemento caratterizzante dei regimi pluviometrici italiani, essa è stata analizzata attraverso un indice calcolato come rapporto fra precipitazioni primaverili-estive (cumulate da aprile a settembre) e precipitazioni autunno-invernali (cumulate da ottobre a marzo). L'indice, calcolato a livello annuale, viene espresso come media trentennale per ogni periodo considerato. Valori elevati di questo indice evidenziano gli ambiti territoriali dove le piogge sono distribuite omogeneamente durante l'intero arco annuale, mentre valori bassi testimoniano un regime climatico di matrice tipicamente Mediterranea, con stagioni secche, anche prolungate, seguite da periodi umidi, generalmente legati alla stagione autunno-invernale.

#### 5.1.3 – *Indice di concentrazione delle precipitazioni*

Tale indicatore è calcolato rapportando il numero dei giorni piovosi dell'anno al totale degli apporti di precipitazione. Per giorno piovoso s'intende quello

in cui si registrano manifestazioni meteoriche con apporti superiori ad 1 mm. Anche questo indicatore è stato viene calcolato separatamente per i due periodi di riferimento.

#### 5.1.4 – *Indice di variabilità delle precipitazioni*

Uno degli aspetti più controversi che viene evidenziato dalle più recenti analisi climatiche a livello continentale è rappresentato dalla variabilità degli apporti meteorici. Tale variabilità è aumentata nel tempo anche se la sua quantificazione appare difficile ed il fenomeno mostra eterogeneità spaziali difficilmente riconducibili ad un modello teorico interpretativo. Di certo, una maggiore variabilità delle piogge può influenzare la predisposizione di un territorio ai fenomeni di degrado dei suoli. Pertanto i regimi pluviometrici sono stati ulteriormente analizzati a livello nazionale utilizzando il Coefficiente di Variabilità delle piogge (CV). Mediante questo indicatore, computato a livello annuale come rapporto percentuale fra deviazione standard e media delle precipitazioni misurate in ciascun ambito spaziale di analisi, è stato possibile evidenziare la tendenza dei totali di precipitazione a scostarsi dal regime climatico di riferimento consentendo di evidenziare le aree maggiormente soggette alle variazioni interannuali determinate, ad esempio, dalla maggiore o minore frequenza di fenomeni estremi.

#### 5.1.5 – *Evapotraspirazione di riferimento (ET<sub>0</sub>)*

L'evapotraspirazione può essere definita come la sintesi di due distinti processi: l'evaporazione diretta dal suolo e la traspirazione delle piante che, nel loro insieme, portano alla dispersione dell'acqua nell'atmosfera sotto forma di vapore (Perini *et al.*, 2004). La quantità di acqua evapotraspirata in un certo tempo (ora, giorno, decade, mese o altri definiti periodi) è normalmente espressa in millimetri e dipende da molteplici variabili fra cui, le più importanti, sono quelle meteorologiche e pedologiche ma hanno influenza anche quelle colturali ed agronomiche. Si definisce evapotraspirazione di riferimento (ET<sub>0</sub>) l'evapotraspirazione convenzionalmente stimata solo su base meteorologica e riferita, per l'appunto, a definite condizioni standard, ovvero ad un prato di ampia estensione, i cui processi di crescita e produzione non sono limitati dalla disponibilità idrica o da altri fattori di stress. Fra i diversi metodi disponibili per stimare l'ET<sub>0</sub>, quello attualmente ritenuto più affidabile è la formula di Penman-Monteith che, nella revisione operata dalla FAO, si presenta come di seguito:

$$ET_0 = \frac{0.408 \Delta (R_n - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} U_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma (1 + 0.34 U_2)}$$

dove:

- $ET_0$ : flusso evapotraspirativo di riferimento [mm d<sup>-1</sup> ]  
 $R_n$ : radiazione netta alla superficie colturale [MJ m<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup> ]  
 $G$ : densità di flusso di calore nel suolo [MJ m<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup> ]  
 $T$ : temperatura media dell'aria [°C]  
 $U_2$ : velocità del vento misurata a 2 m [m s<sup>-1</sup>]  
 $e_s$ : tensione di vapore saturo alla temperatura media dell'aria [kPa]  
 $e_a$ : valore medio della tensione di vapore dell'aria [kPa]  
 $(e_s - e_a)$ : deficit di saturazione [kPa]  
 $D$ : pendenza della curva della tensione di vapore saturo in funzione della temperatura [kPa °C<sup>-1</sup> ]  
 $g$ : costante psicrometrica [0.066 kPa °C<sup>-1</sup>]  
 900: fattore di conversione

### 5.1.6 – Bilancio idrico dei suoli: evapotraspirazione reale ( $ET_R$ ), indice di umidità del suolo (Soil Moisture), deficit pluviometrico, surplus/runoff

La ricostruzione del ciclo idrologico nell'area mediterranea deve partire dal riconoscimento che sia la dinamica dei singoli eventi sia la statistica dei fenomeni in forma aggregata devono tenere in conto delle diverse scale di apparizione dei fenomeni e delle informazioni eterogenee provenienti dalle reti di misurazione. Tuttavia, si possono considerare due scale operative di descrizione dei fenomeni, una legata all'intero bacino mediterraneo, l'altra precipuamente rivolta alla definizione delle caratteristiche agro-climatiche dei singoli ambiti locali. La necessità di estendere l'osservazione ed il rilevamento alla dimensione verticale dei fenomeni (meteorologia di base) come pure alla dimensione fisica superficiale (idrologia) e sotterranea (idrogeologia), nonché dalle utilizzazioni specifiche (agricoltura, industria, turismo) comporta la valutazione sistemica e integrata di più fonti informative a carattere ambientale. Ad esempio, l'erosività delle piogge, funzione della loro intensità, influenza negativamente la capacità di gestione delle acque di ruscellamento nella prevenzione dell'erosione del suolo ed il sostentamento di una agricoltura non irrigua; ciò dipende evidentemente dalle caratteristiche dell'orizzonte pedologico e dall'assetto dello spazio rurale. Pertanto, tenendo anche in conto delle caratteristiche pedologiche dei suoli italiani, si è ritenuto opportuno adottare un modello semplificato di bilancio idrologico seguendo l'impostazione originaria di Thornthwaite-Mather.

In questo studio è stato adottato un semplice modello di bilancio idrico dei suoli secondo quanto proposto da Thornthwaite e Mather; per le sue peculiarità, esso è generalmente utilizzato negli studi di climatologia ed è riconosciuto dalla Soil Taxonomy, del Dipartimento dell'Agricoltura degli Stati Uniti d'America (U.S.D.A.) quale metodologia standard nel calcolo del regime idrico dei suoli a livello tassonomico.

Lo schema di bilancio idrico di Thornthwaite e Mather si presta bene per la determinazione dello stato di umidità del suolo, che rappresenta un indice

climatico complesso, utilizzato specialmente per la determinazione del fabbisogno idrico della vegetazione. I parametri fondamentali di tale bilancio sono l'evapotraspirazione di riferimento ( $ET_0$ ), l'evapotraspirazione reale ( $ET_r$ ), il deficit idrico (D), l'eccedenza idrica (S) e la riserva idrica del suolo (SM).

AWC: 123 mm	Bilancio idrico secondo Thornthwaite-Mather											
	gen	feb	mar	apr	mag	giu	lug	ago	set	ott	nov	dic
P	65	75	74	79	76	74	54	75	85	90	107	88
$ET_0$	21	30	49	74	105	127	144	124	86	45	27	19
O- $ET_0$	45	46	25	5	-29	-53	-90	-49	-1	45	80	68
APWL	0	0	0	0	-29	-82	-172	-222	-223	0	0	0
SM	123	123	123	123	97	50	12	2	0	45	123	123
Etr	21	30	49	74	101	121	91	85	86	45	27	19
D	0	0	0	0	-3	-6	-52	-39	0	0	0	0
S	45	46	25	5	0	0	0	0	0	0	2	68

Fig. 5.3 – Schema di bilancio idrico dei suoli secondo Thornthwaite e Mather

Allo schema originario, però, sono state apportate alcune varianti per migliorarne le performance. Ad esempio, è stata utilizzata la  $Et_0$  calcolata con la formula di Penman-Monteith al posto di quella dello stesso Thornthwaite. Il bilancio idrico presenta le seguenti caratteristiche:

1. opera su base mensile;
2. richiede come input i soli valori di precipitazione (P) ed evapotraspirazione ( $ET_0$ );
3. richiede come dato pedologico il valore della riserva idrica potenziale AWC (il “serbatoio”);
4. parte (da Gennaio) con il terreno a “serbatoio” pieno.

Un'ulteriore migliona ha riguardato il livello della riserva idrica assunto alla partenza qualora la riserva idrica di Dicembre fosse risultata inferiore alla AWC a causa di una insufficiente ricarica da parte delle precipitazioni piovose (P). Ciò ha comportato il calcolo reiterato dell'intero bilancio annuale fino al raggiungimento del suo equilibrio interno. Man mano che il bilancio procede si ha il calcolo dei seguenti termini (espressi in mm):

- $P - ET_0$ : quando è negativo evidenzia un deficit pluviometrico;
- APWL: deficit pluviometrico cumulato (sommatoria dei termini  $P - ET_0$  negativi);
- SM: riserva idrica del suolo. Viene calcolata sulla base di APWL;
- ETr: evapotraspirazione reale;
- D: deficit idrico;
- S: surplus idrico.

Come valore di AWC è stato adottata la media dei valori di AWC delle celle

pedo pertinenti alla cella meteo di volta in volta analizzata valutando l'attribuzione in base alla distanza dei centroidi.

### 5.1.7 – Sommatorie termiche

I processi di crescita e sviluppo di molte specie agrarie sono strettamente correlati all'andamento della temperatura. Un metodo per stimare la quantità di “calore utile” ricevuta da una coltura nel corso del suo ciclo è quello di calcolare le Sommatorie termiche ( $St$ ), ovvero l'accumulo giornaliero di Gradi Giorno o Growing Degree Days (GDD) (Perini *et al.* 2004):

$$GDD = \frac{T_{\max} + T_{\min}}{2} - T_{base}$$

dove:

$T_{\max}$ : temperatura massima giornaliera

$T_{\min}$ : temperatura minima giornaliera

$T_{base}$ : soglia di temperatura al di sotto della quale i processi di crescita e sviluppo risultano significativamente inibiti.

Il calcolo delle sommatorie termiche è stato effettuato su base annuale utilizzando cinque diverse soglie di temperatura: 10 e 15 °C. Il contributo di eventuali valori negativi di GDD, dovuti a temperature medie giornaliere inferiori alla soglia prescelta, è stato considerato nullo. La climatologia di ciascuna decade è stata ottenuta come media delle rispettive sommatorie cumulate sull'intero trentennio:

$$S_t = \frac{\sum_{j=1}^N \sum_{i=1}^n GDD_{d,i}}{N}$$

dove:

$d$ : 1<sup>a</sup>, 2<sup>a</sup>, 3<sup>a</sup>, ..., 36<sup>a</sup> decade dell'anno;

$n$ : numero di giorni della decade (= 11, 10, 8, o 9);

$N$ : numero di anni del periodo (= 30).

### 5.1.8 – Periodi secchi

Lo studio delle sequenze dei giorni con o senza precipitazione appare di rilevante interesse a fini climatologici e previsionali (Brunetti *et al.* 2001). In particolare, periodi più o meno lunghi con assenza di precipitazioni (Cortemiglia 2002) possono essere considerati come periodi di carenza idrica e vengono comunemente considerati periodi secchi (Arlery *et al.* 1973). Anche dal punto di vista agricolo, considerando la condizione ottimale delle colture di potersi avvalere di un continuativo e stabile apporto meteorico (sia in irriguo che in asciutto), si può considerare di grande utilità conoscere i periodi secchi di molti

giorni consecutivi senza precipitazioni che, climaticamente, colpiscono un dato territorio (Rosini 1988). Nell'agro-climatologia, tuttavia, l'interesse maggiore non è tanto legato allo studio dinamico del clima, ma deve rispondere alle esigenze di conoscenza delle interazioni tra piante – soprattutto di interesse agrario – e condizioni climatiche. In tale contesto, l'identificazione di periodi secchi definiti come serie di giorni consecutivi senza precipitazioni appare limitante, anche se potenzialmente significativa; nei fatti, il sistema coltura-terreno non è particolarmente sensibile ai limitati apporti meteorici giornalieri. Si pone, pertanto, la necessità di definire più ampiamente i periodi secchi, anche attraverso una ridefinizione dell'uso di soglie di precipitazione.

Due problemi sorgono quando si vogliono valutare le condizioni strutturali di siccità: sia la durata che la gravità di ogni singolo episodio, che rappresentano le dimensioni più significative dell'evento siccitoso, possono essere misurate in vario modo, ma generalmente, mentre per durata viene considerata la lunghezza in giorni consecutivi del periodo in cui si è registrata precipitazione inferiore ad una data soglia, minori informazioni sono disponibili sulla valutazione della gravità.

Per quanto concerne la durata, Brunetti *et al.* (2001), individuando nella lunghezza dei periodi secchi un indicatore di siccità, propongono l'uso di una soglia di precipitazioni non assoluta bensì relativa al contesto spaziale di riferimento, introducendo quindi come rilevante la variabilità microclimatica. Nelle applicazioni correnti, e nel calcolo operativo, si ricorre, invece, ad un valore soglia standard di 1 mm di pioggia giornaliera per classificare un giorno come piovoso o secco (e.g. Salvati *et al.* 2005). Riguardo alla gravità di ogni singolo episodio siccitoso, è indispensabile quantificare da una parte l'esatto ammontare delle ridotte precipitazioni verificatesi in ogni periodo secco. Ad esempio, periodi secchi durante l'inverno, in periodi di inattività delle colture, associati ad una ridotta perdita idrica per evapotraspirazione, non possono essere considerati come periodi siccitosi, né arrecano alle colture danni attribuibili alla siccità.

In questa ricerca abbiamo fornito un'indicatore sintetico di siccità attraverso l'analisi delle sequenze dei periodi secchi. L'attività computazionale, sia dal punto di vista logico che applicativo, si è avvalsa di una schematizzazione 'flow-chart' che consente di seguire, in modo gerarchico, l'evoluzione della filosofia di studio e del calcolo applicato che ne consegue (Salvati *et al.* 2005). Seguendo la progressione del 'flow-chart', sono stati definiti i concetti di giorno secco e di periodo secco. Il giorno secco è il giorno in cui piovono meno di 10 mm di precipitazione totale. Affinché un periodo sia considerato secco, si devono registrare più di 10 giorni secchi consecutivi. Sono state pertanto definite due soglie operative, la prima, a livello giornaliero, riguardante la precipitazione, la seconda, a livello di periodo, riguardante la lunghezza complessiva. La prima soglia è stata ottenuta come valore inferiore ad una soglia



di precipitazione giornaliera considerata media; è stato infatti diviso l'ammontare di precipitazioni annue in Italia (ca. 840 mm, Brunetti *et al.* 2002) per il numero medio di giorni piovosi in Italia (ca. 90 giorni, Brunetti *et al.* 2001). Il vantaggio di usare una soglia di precipitazione assoluta consente una più agevole comparazione dei risultati a livello geografico. Per quanto riguarda la lunghezza minima (in giorni secchi consecutivi) dei periodi considerati secchi, è stata scelta una soglia di ingresso minima pari a 10 giorni al fine di escludere i periodi troppo brevi per scatenare fenomeni siccitosi a livello agricolo. In definitiva, la scelta di introdurre valori-soglia consente di descrivere l'andamento e le caratteristiche di periodi secchi in cui la precipitazione è stata carente, ma non necessariamente nulla. In letteratura è d'uso l'applicazione della soglia di 1 mm, che è quella operativamente usata nella definizione di giorno di non pioggia (Arlery *et al.* 1973). Si potrebbe dunque affermare che i periodi in cui la precipitazione è nulla o inferiore a 1 mm rappresentano periodi particolarmente secchi, mentre i periodi con precipitazione inferiore a 10 mm (la soglia di precipitazione implementata in questo lavoro) rappresentano periodi potenzialmente secchi se l'andamento delle precipitazioni non è omogeneo, o se si innescano altri fattori di disagio.

Sono stati pertanto identificati, per ogni unità di rilevazione, tutti i periodi, di lunghezza superiore a 10 giorni consecutivi, in cui sono state registrate precipitazioni giornaliere inferiori o uguali alla soglia di precipitazione di 10 mm. Ogni periodo secco è stato identificato in base alla data di inizio e di fine. A partire da questi dati, l'indicatore di siccità effettua un conteggio su base annuale dei giorni secchi e restituisce una media trentennale relativa ai due periodi di riferimento.

#### 5.1.9 – Pioggia utile

Si definisce pioggia utile la frazione della precipitazione totale che può essere utilizzata dalle piante. La perdita di risorse idriche utilizzabili è dovuta principalmente a fenomeni di ruscellamento superficiale, di percolazione negli strati più profondi del suolo non raggiungibili dagli apparati radicali e di intercettazione da parte della vegetazione epigea o da parte di altri eventuali ostacoli (costruzioni, manufatti, etc.). Negli ultimi anni l'aumento delle precipitazioni intense, oltre a causare importanti conseguenze sui processi erosivi dei suoli, ha notevolmente ridotto l'accumulo di riserva d'acqua disponibile nel terreno. A partire dalle informazioni ottenute dal bilancio idrico è stato possibile quantificare la pioggia utile attraverso l'algoritmo proposto dal *Dipartimento dell'Agricoltura degli Stati Uniti, Servizio per la conservazione del suolo (USDA – SCS)*. Tale metodo si basa su un'espressione empirica che determina la quota delle precipitazioni totali consumate per evapotraspirazione, con riferimento ad una data riserva idrica utilizzabile (RU), intendendo con essa il contenuto idrico compreso tra il punto di appassimento e la capacità di campo, limitatamente

allo strato di terreno occupato dalle radici. L'espressione per il calcolo è la seguente:

$$Pu = fc [1,253 \times P^{0,824} - 2,935] \times 10^{(0,001 ET)}$$

Nella formula "fc" è il fattore di correzione che dipende dalla riserva idrica utilizzabile. Esso assume il valore 1 per la condizione pedologica standard<sup>2</sup> caratterizzata da una riserva utilizzabile di 150 mm per metro di suolo ed una profondità radicale di 50 cm, equivalente pertanto ad una riserva utile (AWC) pari a 75 mm. "P" è il valore delle precipitazioni totali mensili (mm), mentre ET rappresenta l'evapotraspirazione totale mensile (mm). Per la calibrazione dei valori riportati a condizioni pedologiche differenti da quella standard, è necessario calcolare il coefficiente correttivo "fc" che varia in funzione della RU, secondo la relazione

$$fc = -0,0000000015823427 \times AWC^4 + 0,0000008546904017 \times \\ \times AWC^3 - 0,00017 \times AWC^2 + 0,01556 \times AWC + 0,4783$$

Se, ad esempio, la precipitazione mensile è pari a 100 mm, l'evapotraspirazione mensile è 125 mm e la riserva idrica utilizzabile che può essere immagazzinata nel terreno (AWC) è di 75 mm, la pioggia utile è di 72 mm; se AWC è diverso da 75 mm, il valore va corretto moltiplicando il dato ricavato precedentemente, per un valore correttivo (fc). Così, ad esempio, con AWC = 125 mm,  $Pu = 72 \times 1.04 = 74.88$  mm. Questo indicatore, che individua un particolare aspetto di qualità agro-climatica, è stato rappresentato anche su base annuale dal rapporto percentuale fra pioggia utile e precipitazioni totali.

#### 5.1.10 – *Indice di aridità*

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

L'aridità rappresenta dunque l'aspetto più significativo nell'ambito dei fattori

<sup>2</sup> La procedura è stata sviluppata da USDA attraverso l'elaborazione congiunta di serie storiche di dati climatici e di valori di umidità del terreno relative a 22 stazioni sperimentali, caratterizzate da differenti condizioni climatiche e pedologiche.

di pressione di natura climatica sul degrado dei suoli. Essa individua condizioni di carenza idrica dovute principalmente al contributo congiunto dei regimi pluviometrici e termometrici, e propone pertanto un'utile valutazione di sintesi. Infatti, la piovosità e l'evapotraspirazione, considerate singolarmente, non sono i migliori indicatori delle condizioni strutturali di aridità e, di conseguenza, di predisposizione ai processi di desertificazione (e.g., AAVV, 1999). Considerate congiuntamente, le condizioni di scarsa precipitazione unite ad elevati valori di temperatura (quindi ad elevati tassi di evapotraspirazione) portano ad una notevole riduzione del contenuto di umidità del terreno e di acqua disponibile per la crescita e lo sviluppo della vegetazione.

In questa ricerca, l'aridità viene quantificata attraverso l'indicatore proposto ed ampiamente utilizzato in sede UNEP (1997) e FAO, che va sotto il nome di indice di aridità. Si tratta del rapporto fra precipitazione ed evapotraspirazione potenziale misurate in un periodo di riferimento sufficientemente ampio (nel nostro caso il trentennio, originariamente proposto dall'OMM e opportunamente adattato agli scopi di questo studio) e pari a:

$$IA = P/ET_p$$

dove:

P = Precipitazione media annua

$ET_p$  = Evapotraspirazione potenziale media annua. Attualmente il concetto ed il calcolo di  $ET_p$  è stato sostituito con quello di  $ET_0$  sopra descritto.

Questo indice rappresenta, pertanto, una estrema semplificazione di un modello di bilancio meteo-idrologico in cui l'input viene rappresentato dalle precipitazioni e l'output riguarda esclusivamente le perdite idriche per evapotraspirazione. Il valore di IA oscilla in un range compreso fra valori prossimi a 0 (precipitazione minima e massima evapotraspirazione) e superiori ad 1 (massimo apporto meteorico e minima evapotraspirazione). Una classificazione dei valori di IA universalmente adottata è la seguente che porta a definire, per quanto concerne le aree di interesse nazionale, le seguenti zonizzazioni:

$$\begin{aligned} IA < 0.5 & \text{ aree aride e semi-aride;} \\ 0.5 < IA < 0.65 & \text{ aree sub-umide secche;} \\ IA > 0.65 & \text{ aree umide e iper-umide.} \end{aligned}$$

L'indice IA è molto diffuso ed utilizzato negli studi della desertificazione. Una semplice quanto immediata valutazione proposta dall'UNCCD utilizza la seguente classificazione:

$$\begin{aligned} IA < 0.03 & \text{ DESERTIFICAZIONE} \\ IA > 0.75 & \text{ NO DESERTIFICAZIONE} \end{aligned}$$

In questo lavoro è stato calcolato ed utilizzato anche un *Indice di aridità corretto (IAc)* utilizzando la Pioggia utile (Pu) e l'evapotraspirazione reale (ET<sub>R</sub>):

$$IAc = Pu / ET_R$$

#### 5.1.11 – *Indice di Precipitazione Standardizzato (SPI)*

L'Indice di Precipitazione Standardizzato (SPI) (McKee et al., 1993) è uno strumento abbastanza diffuso per monitorare il deficit di precipitazione su scale temporali diverse in funzione della finalità dell'analisi. Essendo un indice standardizzato, esso non è influenzato dal valore assoluto della pioggia e consente la confrontabilità fra località climaticamente differenti. Per essere rappresentativo, tuttavia, il calcolo dell'indice necessita di serie di dati sufficientemente lunghe e sostanzialmente complete, prive, cioè, di dati mancanti. La procedura per il calcolo dell'indice si basa sulla seguente equazione semplificata:

$$SPI_{\Delta t} = \frac{(X_{\Delta t} - \bar{X}_{\Delta t})}{S_{\Delta t}}$$

dove  $\bar{X}_{\Delta t}$  è la precipitazione totale cumulata sui mesi della finestra temporale  $\Delta t$ ;  $\bar{X}_{\Delta t}$  è la precipitazione media climatica cumulata sui mesi della finestra temporale  $\Delta t$ ;  $S_{\Delta t}$  è lo scarto quadratico medio dei valori di precipitazione  $X_{\Delta t}$  calcolato sulla serie storica presa in considerazione.

Il valore assunto da SPI indica condizioni di abbondanza o di deficit di precipitazioni rispetto al valore normalmente atteso sulla scala di tempo utilizzata. Il perdurare di segnali negativi (o positivi) indica la durata della fase siccitosa (o umida). La valutazione dei risultati avviene in base alla seguente tabella:

Tabella 5.3 – tabella di valutazione dell'indice SPI

SPI	Classificazione Clima
> 2.00	Estremamente umido
da 1.99 a 1.50	Molto umido
da 1.49 a 1.00	Moderatamente umido
da 0.99 a -0.99	Nella norma
da -1.00 a -1.49	Moderatamente secco
da -1.50 a -1.99	Molto secco
< -2.00	Estremamente secco

In questo lavoro, considerando i due periodi storici utilizzati (1961-1990; 1971-2000), sono stati ottenuti 760 valori di SPI (Dt = trimestre) per ogni nodo di griglia, sui quali sono state calcolate le frequenze delle occorrenze di SPI < -0.99.

### 5.1.12 – *Temperature estreme*

La gran parte dei processi biologici, fisici e chimici che avvengono sopra e all'interno del terreno, nonché la stessa evoluzione dei suoli, risultano notevolmente influenzati dalla temperatura. A fronte delle notevoli difficoltà per determinare correttamente il *pedoclima*, risulta prassi consolidata utilizzare i dati di temperatura dell'aria che sono di più semplice acquisizione e maggiormente disponibili. Bisogna tener presente, tuttavia, dello scostamento fra temperatura dell'aria e temperatura del suolo (che varia da suolo a suolo in relazione al colore, allo stato di imbibizione, alla copertura vegetazionale, all'esposizione, etc.), dello sfasamento temporale fra i due andamenti e della più contenuta escursione della temperatura tellurica.

Valori termici estremi, in particolare quelli elevati, condizionano negativamente le caratteristiche di fertilità del suolo favorendone la degradazione in termini di crepacciamento, perdita di struttura, perdita di sostanza organica, peggioramento delle qualità idrauliche, etc.

In questo lavoro, per quantificare gli aspetti dei regimi termometrici presumibilmente coinvolti nei fenomeni di degrado dei suoli, abbiamo computato su base annua il numero medio di giorni con temperatura massima superiore a 35°C. Tale indicatore evidenzia gli episodi delle *heat waves*, sempre più ricorrenti negli ultimi anni ed individua le aree maggiormente soggette a fenomeni termometrici estremi, potenzialmente negativi per le caratteristiche dei suoli.

### 5.1.13 – *Esposizione*

Nell'applicazione dell'approccio MEDALUS/ESA l'esposizione dei versanti viene inclusa tra gli indicatori climatici utili a rappresentare i processi di degrado del territorio (Ceccarelli *et al.*, 2006). Infatti l'esposizione influenza il microclima del suolo determinandone, attraverso l'angolo e la durata dell'incidenza dei raggi solari sulla sua superficie, il grado d'insolazione. Aree con esposizione a sud e ad ovest sono raggiunte da una quantità di energia solare incidente maggiore e risultano pertanto più calde. Di conseguenza hanno valori di evapotraspirazione maggiori. Un altro effetto indiretto è quello di una minore capacità di ritenzione idrica dei suoli e di un ritardato sviluppo della vegetazione, che a sua volta determina tassi di erosione più elevati rispetto ai versanti nord ed est. (Motroni *et al.* 2004).

## 5.2 PRESSIONE DEMOGRAFICA

### 5.2.1 – *Urbanizzazione*

Il termine urbanizzazione assume nello specifico contesto di questo lavoro il significato di "sigillatura" del suolo ad opera della cementificazione del territorio. Il costante incremento di superficie territoriale impiegata per l'urbanizza-

zione può essere considerato il principale ed il più evidente tipo di pressione di natura antropica che possa gravare sul territorio. Il fenomeno, infatti, è direttamente connesso all'incremento demografico e all'intensificazione delle attività produttive ed economiche, con particolare riferimento al turismo. Qualunque intervento edificatorio, a scopo civile, industriale o per realizzazioni infrastrutturali (come, ad esempio, i porti e gli idroscali, gli aeroporti e gli oleodotti, le reti di comunicazione quali strade, autostrade e ferrovie) comporta, infatti, copertura, decorticamento e impermeabilizzazione delle aree di pertinenza. Oltre ad essere direttamente collegati alla perdita della risorsa, gli impatti sul suolo prodotti dall'urbanizzazione comportano ancora frammentazione del paesaggio, inquinamento da fonti diffuse, squilibrio dell'ecosistema e dell'agro-ecosistema. Purtroppo, anche quando l'urbanizzazione procede secondo una pianificazione preordinata, l'impatto ambientale che ne deriva conduce sempre a degradazione del suolo più o meno grave. È opportuno, quindi, riuscire a quantificare tutti questi aspetti definendo, se possibile, la soglia oltre la quale un processo degradativo diventa irreversibile, accelerando così i processi di desertificazione.

L'analisi del sistema di degrado delle terre per urbanizzazione/sigillamento si avvale, nel complesso, di cinque indicatori quantitativi desumibili sia dalle fonti censuarie, sia dalle carte di uso del suolo. In particolare, sono state considerate come variabili di stato la densità di popolazione e la variazione demografica intercensuaria come indicatore *proxy* della pressione antropica sul territorio dovuta alle dinamiche demografiche e alla struttura della popolazione, nonché la densità degli addetti al settore turistico a livello comunale. Appare, inoltre, rilevante monitorare le forme di insediamento sul territorio attraverso la percentuale di popolazione residente nei principali insediamenti, nei nuclei abitati e nelle frazioni, intesa come descrittore di forme di insediamento concentrata, dispersa, oppure eterogenea. Un importante fattore di impatto, infine, viene ricondotto al fenomeno di *sprawling*, ampiamente diffuso nelle aree costiere sull'intero territorio nazionale (Costantini et al. 2004). Si utilizza pertanto un indicatore *proxy* rappresentato dalla proporzione di aree urbane e costruite rispetto alla superficie comunale.

Tabella 5.4 – Indicatori elementari applicati allo studio dei fenomeni di degrado delle terre per urbanizzazione/sigillamento, unità di misura e periodo temporale di riferimento

Indicatore	Unità di misura	1990	2000
<i>Densità di popolazione</i>	<i>Abitanti/kmq</i>	X	X
<i>Variazione demografica</i>	%	X	X
<i>Popolazione residente nei centri abitati</i>	%	X	X
<i>Densità delle attività turistiche</i>	<i>Addetti/kmq</i>	X	X
<i>Superfici delle aree costruite</i>	%	X	X

### 5.2.2 – *Densità di popolazione e variazione demografica*

La presenza antropica rappresenta un fattore di pressione sull'ambiente sotto differenti punti di vista. Un'elevata densità di popolazione conduce generalmente a fenomeni di degrado dei suoli, a cominciare da quelli più fertili tradizionalmente vocati all'agricoltura, attraverso l'espansione delle aree abitate e delle infrastrutture civili. Al contrario, anche un accentuato decremento demografico (dovuto ad esempio allo spopolamento rurale, fenomeno ben conosciuto in Italia nell'ultimo secolo), soprattutto se rapido e diffuso, comporta ugualmente fenomeni di degrado ambientale. Attualmente, l'Italia presenta una situazione demografica estremamente eterogenea caratterizzata da ambiti rurali, soprattutto in collina e montagna, a ridotta densità, mentre lungo le aree costiere e nelle aree metropolitane a forte concentrazione demografica. L'evoluzione demografica, ben rappresentata nell'atlante nazionale sul malessere demografico (Golini *et al.* 2000), evidenzia ambiti ad elevato rischio di spopolamento (Appennino ligure e tosco-emiliano, Appennino centrale, zone interne della Basilicata) ed ambiti ad elevata crescita della popolazione (Puglia, litorale laziale, pianura padana).

Nei principali modelli di stima della vulnerabilità alla desertificazione, l'aspetto demografico viene considerato molto rilevante e generalmente viene analizzato nella tematica inerente la pressione antropica sugli ecosistemi (CNLD 1999, DISMED 2003, Salvati *et al.* 2005, Ceccarelli *et al.* 2006). Il legame con i fenomeni di degrado delle terre è quindi rappresentato sia da una configurazione territoriale ad elevata densità, sia da fenomeni rapidi di spopolamento rurale. Questo concetto viene operativizzato attraverso indicatori di *densità di popolazione e variazione demografica*. La relazione fra densità di popolazione e grado di vulnerabilità alla desertificazione è diretta, mentre quella fra variazione demografica e grado di vulnerabilità è più complessa: una variazione demografica nulla o prossima a zero indica un basso grado di vulnerabilità, una variazione elevata (sia in termini di incremento che di decremento della popolazione) indica un più elevato livello di vulnerabilità.

In questo lavoro abbiamo inteso descrivere la configurazione demografica di un dato territorio attraverso la densità della popolazione, espressa in abitanti residenti per superficie comunale, e la variazione demografica intercensuaria, espressa in termini percentuali. Il primo indicatore evidenzia una relazione diretta e proporzionale con il livello di vulnerabilità ambientale, indicando un'elevata densità di popolazione come predisponente a possibili fenomeni di degrado. Il legame fra variazione demografica e fenomeni di degrado delle terre appare, come già detto, più complesso. Tale variabile, infatti, mette in evidenza sia processi di accrescimento della popolazione (espressi da valori percentuali positivi) sia di decremento demografico, ad esempio quelli di spopolamento rurale.

Entrambi questi processi appaiono predisponenti i fenomeni di desertificazione. Il dataset demografico utilizzato in questa applicazione deriva dagli ultimi

quattro Censimenti Generali della Popolazione e delle Abitazioni condotti dall'Istituto Nazionale di Statistica. I dati di base, inizialmente raccolti per sezione di censimento, possono essere aggregati al livello geografico desiderato (nel nostro caso è stato scelto l'ambito comunale). Per quanto riguarda i dati relativi ai censimenti anteriori a quello del 2001, sono stati utilizzati i dati della popolazione aggregati a livello comunale (al netto delle variazioni dei confini amministrativi comunali intercorse nei periodi intercensuari) secondo ISTAT (1994).

### 5.2.3 – *Turismo*

L'impatto delle attività umane, strettamente collegate all'espansione urbana, alimenta i processi di degrado dei suoli. In particolare, le pressioni del turismo, soprattutto sulle aree costiere, esercitano un forte impatto sull'ambiente, soprattutto rispetto ai modelli tradizionali di uso del suolo diffusi presso le comunità locali; ad esempio, l'espansione urbana non pianificata risulta dannosa persino nella mancanza di servizi di prima necessità, quali la fornitura idrica, causando, peraltro, a fronte di opportunità economiche stimolate dal settore turistico, un peggioramento complessivo della qualità della vita ed una diseguale redistribuzione delle risorse soprattutto a carico delle fasce più marginali della popolazione.

Fra il 1996 ed il 2001 le presenze turistiche in Italia sono aumentate del 20%, con un tasso di crescita maggiore per le città d'arte e i capoluoghi (27%), mantenendo tuttavia una forte concentrazione territoriale (soprattutto al nord) e di destinazione: il 34% nelle località balneari, il 13% in montagna, il 7% ai laghi. (Ambiente Italia 2003). La pressione turistica lungo le coste raggiunge livelli eccezionali in Emilia-Romagna (fino a 1.700 persone per chilometro di costa ogni giorno nel periodo estivo), in Veneto e nel Friuli-Venezia Giulia. La domanda turistica crescente nelle località balneari ha condotto anche ad un aumento esponenziale delle pressioni locali a favore dello sviluppo edilizio lungo le coste. Sebbene tale crescita stia rallentando, il fenomeno appare ancora di grande portata: a solo titolo di esempio, in Sardegna lungo le coste lontane dalle maggiori aree urbane si estende un insieme cospicuo di case di vacanza ed alberghi, culminato, in alcuni comuni della provincia di Sassari, con un aumento del 50% della popolazione in circa venti anni e ad un pari incremento delle attività turistiche.

Al fine di attuare un monitoraggio della pressione turistica sull'intero territorio nazionale ad una scala geografica congrua con gli obiettivi di questo studio, è stato predisposto un indicatore di concentrazione basato sul numero di addetti impiegati nel settore turistico per km<sup>2</sup> di superficie comunale. Tale valore di densità, rilevato nei due periodi di riferimento (1991 e 2001) dal Censimento Generale dell'Industria e dei Servizi, rappresenta un indicatore *proxy* del grado di infrastrutturazione turistica del territorio ed evidenzia fenomeni di pressione sia lungo le coste, sia negli ambiti più interni, ponendo in luce gli ambiti a maggiore vocazione turistica (cfr. Brunini et al. 2002).



#### 5.2.4 – *Forme di insediamento*

Lo studio della distribuzione della popolazione sul territorio riveste una particolare importanza nella trama delle relazioni bi-direzionali esistenti tra l'ambiente fisico ed i fenomeni sociali. In questa prospettiva appare altresì assai rilevante la comparazione delle forme di insediamento sul territorio con l'indicatore densità demografica; esso, oltre a fornire preziose informazioni riguardo ai modi di occupazione di una determinata area territoriale si configura come una misura del concetto di *carrying capacity*.

Attraverso i dati censuari è possibile esaminare le modalità di distribuzione della popolazione sul territorio attraverso la classificazione della popolazione residente per *Centri, Nuclei e Case sparse*. Questa misura della concentrazione demografica può essere considerata come una “[...] variabile di *urbanizzazione interna* di un sistema locale comunale: tanto più alta è la concentrazione della popolazione nel comune capoluogo tanto più alto è il suo livello di urbanizzazione e ciò a prescindere dall'ampiezza del comune e quindi del suo essere urbano o rurale [...]” (Martinelli, 1981). Se si sottrae al valore aggregato della popolazione riportato per i centri abitati il numero degli abitanti del centro capoluogo è possibile ottenere due ulteriori variabili: la popolazione residente nel centro capoluogo e quella residente negli *Altri centri*.

Da queste informazioni si può desumere, quindi, sia la concentrazione della popolazione nel modello insediativo locale sia l'eterogeneità della forma di insediamento a scala comunale. In questo studio abbiamo utilizzato il rapporto fra popolazione residente nei centri abitati e la popolazione totale comunale per descrivere l'eterogeneità o la concentrazione dell'insediamento a scala locale. I comuni che presentano una consistente proporzione di popolazione residente nel centro principale manifestano una struttura insediativa omogenea, con un territorio peri-urbano bassamente popolato e quindi a minore impatto antropico. Nei comuni dove l'insediamento umano appare, invece, più eterogeneo, la percentuale di popolazione residente nel nucleo centrale decresce ed aumenta la popolazione delle frazioni e delle case sparse, a conferma di una distribuzione più dispersa sul territorio, con conseguente aumento delle infrastrutture e dei servizi di supporto. Tale indicatore appare di interesse nella lettura dei fenomeni di degrado delle terre, soprattutto se interpretato alla luce delle altre variabili tematiche qui utilizzate (densità di popolazione, variazione demografica, infrastrutturazione turistica, *urban sprawl*).

#### 5.2.5 – *Urban sprawl*

L'urbanizzazione, soprattutto nelle aree costiere, è stata caratterizzata da criteri di pianificazione assenti o non coordinati, portando a serie conseguenze sulle risorse idriche e del suolo. Gli effetti più significativi possono essere ricondotti, fra gli altri, alla distruzione di territorio agricolo ad elevato potenziale produttivo, impoverimento degli acquiferi dovuto all'eccessivo sfruttamento, salinizza-

zione ed inquinamento di falde idriche profonde. In molte regioni meridionali, i principali tratti di compromissione del territorio vanno ricercati nello sviluppo dell'edilizia abusiva, nella frammentazione delle aree naturali a ridosso degli insediamenti urbani, nella urbanizzazione diffusa delle aree agricole. Unito ai fenomeni di infrastrutturazione turistica e di urbanizzazione massiccia del territorio appare l'abusivismo edilizio, alimentato dal mancato presidio del territorio, dallo stato inadeguato degli strumenti di pianificazione territoriale, da un insufficiente livello di educazione e di cultura ambientale.

Lo strumento più efficace per diminuire la concentrazione urbana sulle coste può essere rappresentato da una politica più incisiva a sostegno delle popolazioni dei territori interni, con assi prioritari incentrati sui sistemi delle aree protette, sullo sviluppo dell'agriturismo e dell'agricoltura biologica, sulla promozione dei servizi urbani, sul settore del *no-profit*. La decentralizzazione dei servizi dalle maggiori aree urbane dovrebbe avvenire non direttamente verso le aree limitrofe interne, quanto piuttosto verso una rete di piccole realtà urbane a bassa dotazione di servizi, in grado di generare non tanto un effetto catalizzatore sulle aree vicine, quanto un processo di riequilibrio territoriale e di redistribuzione di servizi, colmando quel *gap* manifestato negli ultimi cinquanta anni da una incongruente politica territoriale fra le zone di pianura e litoranee e gli ambiti dell'interno o della montagna. La pianificazione urbana e rurale dovrebbe quindi considerare sistemicamente tutti gli aspetti produttivi e non soltanto le aree edificate, agricole o a più elevata vocazione turistica.

L'impatto di una politica territoriale che non persegue gli obiettivi della sostenibilità ambientale può essere rappresentato dalla compromissione del territorio attraverso fenomeni diffusi di *sprawling*. Come indicatore *proxy* di tale processo abbiamo considerato l'incidenza percentuale della superficie costruita per ogni comune, attraverso una riclassificazione della cartografia Corine. Le tipologie di uso del suolo classificate come aree costruite sono rappresentate dal codice 1 ('superfici artificiali') nella classificazione Corine I livello.

### 5.3 SALINIZZAZIONE

La salinizzazione del suolo rappresenta un'altra causa di degrado delle terre che conduce a processi localizzati di desertificazione. Sebbene diversi sali, (particolarmente cloruri e solfati di sodio e di magnesio), siano presenti, in proporzioni relativamente elevate, in molti degli strati inferiori del terreno, l'eccessivo accumulo di sali nello strato di suolo occupato dalle radici si traduce in una parziale o, più raramente, completa perdita di produttività da parte delle colture in quanto la concentrazione di sali ostacola il normale assorbimento di acqua e di elementi nutritivi e determina una alterazione delle caratteristiche del suolo stesso.

I sali che si accumulano nel suolo provengono tutti da processi di alterazione delle rocce (determinati da fattori diversi quali quelli litologici, geomorfologici, climatici, idrologici ed antropici) nei quali l'acqua gioca comunque un ruolo fondamentale o da processi legati all'accumulo dei sali marini nelle aree adiacenti al mare. Per quanto riguarda i processi alla base della salinizzazione si possono distinguere diversi "cicli", spesso tra loro interdipendenti: i cosiddetti cicli marini, continentali, artesiani, antropici<sup>3</sup>.

Il fenomeno della salinizzazione si articola secondo due problematiche differenti. Si distingue, infatti, un processo naturale (salinizzazione primaria), dovuto al substrato pedogenetico su cui il suolo evolve (litotipi salini<sup>4</sup>), da una salinità indotta (salinizzazione secondaria), causata in genere da irrigazione con acque salmastre, ma anche da altri usi non irrigui e quindi comunque da una azione antropica. Come detto nei processi di origine antropica i diversi "cicli" spesso interagiscono tra loro aggravandone l'effetto.

Una delle principali concause nei processi di salinizzazione è senz'altro l'eccessivo utilizzo delle risorse idriche. Tra gli usi agricoli che generalmente determinano i maggiori consumi idrici vi sono le colture orto-frutticole, oltre a vigneti, oliveti e seminativi nelle aree in cui viene praticata la coltura in irriguo. Tra gli usi non agricoli abbiamo senza dubbio gli emungimenti per consumi urbani (particolarmente impattanti sono quelli legati allo sviluppo turistico perché spesso localizzati nella zona costiera) ed industriali che fra l'altro hanno l'effetto di limitare le acque disponibili per l'agricoltura a quelle di minore qualità (spesso appunto perché saline o inquinate). Altri fattori spesso citati sono il sovrappascolamento e la deforestazione che determinano una azione di più lungo periodo, con conseguente alterazione dei cicli idrologici e della fertilità dei suoli.

L'effetto della salinizzazione risulta acuito quando vengono interessati suoli particolarmente sensibili quali quelli privi di carbonati e con tessitura argillosa<sup>5</sup>. L'impatto negativo è maggiore quando agli alti consumi idro-potabili si accompagnano fonti di approvvigionamento quali l'emungimento da falda in prossimità delle coste, con conseguente intrusione del cono salino e salinizzazione dei pozzi. Oltre alle fonti contano anche le tecniche irrigue che possono risultare più o meno predisponenti rispetto al fenomeno della salinizzazione secondaria.

Pur non essendo ad oggi disponibile una cartografia dei suoli salini in Italia, Dazzi (2005) riporta i risultati di una indagine conoscitiva che indica le zone di maggior concentrazione degli stessi: bassa pianura padana, lunghi

<sup>3</sup> Dazzi (2005).

<sup>4</sup> In letteratura la "Serie Gessoso-Solfifera" viene generalmente indicata come un proxy per identificare i più importanti litotipi salini nei nostri ambienti. Anche suoli costituiti da substrati argillosi di origine marina hanno queste caratteristiche (cfr. Costantini *et al.* 2007).

<sup>5</sup> Come quelli denominati "terre rosse" presenti ad esempio nelle Murge (Costantini, *op. cit.*, pag. 108) o in alcuni dei vertisuoli della piana di Catania.

tratti del litorale tirrenico (pianure costiere pisano-livornese e grossetana, alcune aree in Lazio e Campania) e adriatico, fascia costiera della Puglia, Basilicata e Sardegna, ampi tratti della Sicilia. Anche L'Atlante Nazionale del Rischio di Desertificazione riporta, come risultato del sistema di degradazione delle terre da salinizzazione (indice d'impatto: acquiferi potenzialmente salini), una cartografia che mette in evidenza ampie aree a rischio nella costa tirrenica (Toscana, Lazio, Campania), lungo le coste pugliesi, della Basilicata e Calabria Jonica, della Sicilia meridionale e della Sardegna. Nell'Italia meridionale tale fenomeno è in progressivo aumento, oltre che nelle aree già ricordate, anche in altre zone litoranee (come, ad esempio, la piana di Sibari e di Metaponto, le coste molisane). In molte delle aree citate, l'intensificazione colturale ha condotto, negli ultimi venti anni, ad utilizzare in modo spesso irrazionale la risorsa idrica locale per far fronte alle esigenze di colture erbacee (barbabietola, mais, girasole, ortaggi) nonché di frutteti specializzati da alto reddito (vigneti, pescheti, agrumeti).

Vista la mancanza di dati in grado di rappresentare il fenomeno su scala nazionale, si ricorre generalmente da un approccio che prevede la modellizzazione GIS di una serie di variabili correlate. Costantini *et al.* (2004) propongono un indicatore *proxy* in grado di definire le aree potenzialmente saline, ovvero dove un eccessivo emungimento può condurre ad una progressiva salinizzazione dei suoli. Tale indicatore è stato costruito imponendo una fascia territoriale di vulnerabilità entro i sei chilometri dalla linea di costa, caratterizzate al contempo da una quota inferiore a 10 metri sul livello del mare e dalla presenza di litotipi salini.

In questo studio è stata seguita una strada analoga. Sulla base di quanto prima esposto sono stati sviluppati due indicatori di rischio che si riferiscono alle diverse dimensioni della salinizzazione primaria e secondaria. Per quanto riguarda la **salinizzazione primaria** gli elementi considerati nel calcolo dell'indice sono stati:

- *i Litotipi Salini*, informazione ricavabile dalla già citata carta Geologica d'Italia a scala 1:500.000.

- *Le pianure costiere*, identificabili in termini di distanza dalla linea di costa e quota sul livello del mare, a partire da un modello digitale del terreno.

È stato quindi derivato un indice di rischio legato ai fenomeni di **salinizzazione secondaria**, che tiene conto delle seguenti variabili:

- *Aree più vulnerabili* ai processi di salinizzazione, identificabili a partire dal Corine Land Cover selezionando gli usi del suolo che richiedono maggiori emungimenti.

- *Suoli particolarmente sensibili* all'utilizzo di acque saline, informazione anche qui derivabile dalla Carta Geologica d'Italia.

In sintesi, per quanto riguarda il sistema di degrado legato alla salinizzazione, gli indicatori inizialmente individuati (oggetto tuttavia di ulteriore selezione in

ragione della copertura territoriale o della effettiva disponibilità dell'informazione di base) sono i seguenti:

Tabella 5.5 - Indicatori elementari selezionati per lo studio dei fenomeni di degrado delle terre per salinizzazione, unità di misura e periodo temporale di riferimento. Tali indicatori sono stati oggetto di ulteriore selezione nell'applicazioni finali

Indicatore	Unità di misura	Serie storica unica (1990 e 2000)
<i>Aree a rischio di salinizzazione primaria</i>	% su sup. comunale	X
<i>Aree a rischio di salinizzazione secondaria</i>	Punteggio	X
<i>Aziende agricole con prelievo da falda</i>	%	X
<i>Aziende agricole con sistemi irrigui ad elevato impatto agro-ambientale</i>	%	X
<i>Indice di Shannon sulle fonti irrigue</i>	Punteggio	X
<i>Indice di Shannon sui sistemi irrigui</i>	Punteggio	X

#### 5.4 EROSIONE IDRICA

Il suolo riveste un ruolo fondamentale nei processi di desertificazione degli ecosistemi delle aree semi-aride e sub-umide, soprattutto nei casi in cui la profondità del suolo, necessaria per il minimo sostentamento fisico degli apparati radicali delle piante e per il contenimento dell'acqua e degli elementi nutritivi è troppo ridotta. Vi sono casi in cui la desertificazione procede in modo irreversibile anche nei terreni sufficientemente profondi, quando il loro bilancio idrico non è in grado di soddisfare i fabbisogni idrici delle piante. Raramente, nelle aree semi-aride e sub-umide, sono stati riscontrati casi di terreni desertificati per le condizioni di carenza degli elementi nutritivi essenziali per la crescita delle piante.

##### 5.4.1 – *Caratteristiche del suolo*

Gli indicatori di qualità del suolo possono essere messi in relazione alla disponibilità d'acqua e alla resistenza all'erosione: sono rappresentati da caratteristiche del suolo come la roccia madre, la tessitura, la pietrosità, la profondità, il drenaggio e la pendenza. Partendo dalle caratteristiche pedologiche dei suoli, il set di indicatori che descrive il sistema di degrado delle terre per erosione esplora anche la vulnerabilità del territorio in base al grado di copertura vegetale, alla protezione dai fenomeni erosivi e dall'aggressività climatica, nonché alle principali pressioni antropiche che incidono negativamente sulla qualità dei suoli, quali l'entità e la ricorrenza degli incendi boschivi, il grado di pascolamento ed il rischio di compattamento dei suoli agrari dovuto al ripetuto passaggio delle trattrici. Altro aspetto è rappresen-

tato dai processi di modifica di caratteristiche e proprietà dei suoli all'esercizio prolungato dell'irrigazione. Ciò concerne i problemi di salinizzazione di alcuni suoli nelle zone costiere, argomento che abbiamo già precedentemente esaminato.

La complessità dei suoli e la loro variabilità spaziale sia verticale sia orizzontale fa sì che solo attraverso la comprensione dei fenomeni che hanno dato origine al suolo stesso e con l'aiuto di un sistema di descrizione e rappresentazione semplificato, ma pur sempre strutturato su più livelli e su approssimazioni successive, si possa fornire un'informazione attendibile sulla qualità dei suoli. Ogni altra semplificazione che attribuisca ad un'area il valore relativo ad un punto rappresenta una forzatura che necessariamente può indurre all'errore.

I pedologi hanno affinato strumenti per rappresentare le caratteristiche dei suoli nella loro variabilità e quindi la loro esperienza è necessaria per indirizzare anche gli operatori del settore ambientale verso un corretto ed efficace utilizzo delle informazioni sui suoli per l'ottenimento di elementi conoscitivi di carattere ambientale. Il maggiore ostacolo alla costruzione degli indicatori identificati per rappresentare la qualità dei suoli è insita nella difficoltà di gestione dei dati pedologici sopra descritta. Molti degli indicatori identificati nella letteratura recente su questo tema sono indicatori di stato, che rappresentano le principali caratteristiche chimico fisiche e pedologiche del suolo: pH, sostanza organica, tessitura, profondità, capacità di campo.

La maggior parte di questi dati sui suoli è stata raccolta, nelle varie regioni, nell'ambito delle indagini pedologiche e di ricerche specifiche e non per il

Tabella 5.6 – Indicatori elementari applicati allo studio dei fenomeni di degrado delle terre per erosione idrica, unità di misura e periodo temporale di riferimento

Indicatore	Unità di misura	1990	2000
Profondità del suolo	mm		X
Tessitura	Punteggio		X
Available water capacity	mm		X
Strato parentale-substrato	%		X
Grado di pietrosità del suolo	%		X
Capacità di drenaggio del suolo	Punteggio		X
Contenuto in carbonio organico	%		X
Rischio di erosione idrica	Tonn/ha/anno		X
Indice di resistenza alla siccità	Punteggio	X	X
Indice di rischio incendio	Punteggio	X	X
Indice di protezione dall'erosione	Punteggio	X	X
Indice di copertura vegetale	Punteggio	X	X
Indice di resistenza alla siccità	Punteggio	X	X
Indice di intensità uso del suolo agro-forestale	Punteggio	X	X
Indice di pascolamento	UBA/SAU	X	X
Superfici boscate incendiate	%	X	X
Superfici sotto vincolo di tutela	%		X

monitoraggio della qualità dei suoli. Per questo motivo i gestori dei dati ritengono poco corretto il loro utilizzo per altri scopi che non siano quelli per cui sono stati raccolti, con il rischio di arrivare a conclusioni errate. Sugeriscono, quindi, l'utilizzo non dei dati elementari ma di dati rielaborati a partire da questi. Tali difficoltà non permettono sempre, allo stato attuale, la rappresentazione di questi indicatori su scala nazionale ad un livello geografico di elevato dettaglio.

Gli indicatori di qualità del suolo vengono generalmente messi in relazione alla disponibilità d'acqua e alla resistenza all'erosione; a questo scopo, le variabili legate al suolo che vengono normalmente utilizzate nell'applicazione del metodo ESA includono materiale parentale, pietrosità, tessitura, profondità, drenaggio e pendenza (Giordano et al. 2002, Motroni *et al.* 2004).

Il materiale parentale o roccia madre viene generalmente messo in relazione al regime di umidità del suolo e alla erodibilità dei suoli. Ad esempio, suoli derivati da rocce calcaree sono generalmente poco profondi e facilmente erodibili. Caratteristiche simili presentano i suoli formati su rocce effusive acide (Kosmas 1999, Motroni *et al.* 2004). La tessitura è considerata di fondamentale importanza per quanto concerne la capacità di ritenzione idrica ed il rischio di erosione. La pietrosità ha influenza su runoff ed erosione dei suoli. Questi processi sono più marcati nelle aree con notevole pietrosità superficiale, anche se la presenza di ciottoli favorisce la conservazione dell'umidità del suolo in condizioni di limitato stress idrico nel periodo primaverile e di inizio estate (Kosmas 1999). In generale, la maggiore profondità di un suolo garantisce una maggiore copertura vegetale offrendo così resistenza all'erosione. Ciò è da mettere in relazione sia alla maggiore capacità di sviluppo dell'apparato radicale che alla più elevata disponibilità idrica. Il drenaggio ha importanza in relazione alla possibile salinizzazione dei terreni, uno dei processi che favoriscono i fenomeni di desertificazione. La pendenza e le caratteristiche topografiche rappresentano una fra le maggiori cause dell'erosione dei suoli. In superfici acclivi il rischio di erosione dipende dalla frequenza delle piogge intense e, per i terreni agrari, da tecniche colturali poco razionali.

Un secondo gruppo di indicatori afferenti al tema sulla qualità del suolo definisce invece il livello di presenza, e quindi eventualmente il grado di contaminazione, di alcuni fra gli elementi chimici che con maggiore facilità possono venire a contatto, e quindi possono essere accumulati, con il suolo a seguito delle pratiche di concimazione, difesa antiparassitaria e per lo scarico dei reflui. Alcuni di questi sono trattati nel paragrafo 5.5, inerente i fattori di degrado per inquinamento e deterioramento fisico dei suoli.

#### 5.4.1.1 – *Tessitura dei suoli*

La conoscenza delle caratteristiche tessiturali e della struttura dei suoli è di fondamentale importanza per definire alcune caratteristiche degli stessi, in

particolare la capacità di ritenzione idrica e il rischio di erosione, due fattori chiave nei processi di desertificazione. La fase solida del suolo è costituita da materiali molto eterogenei, sia dal punto di vista qualitativo, che per la dimensione delle particelle costituenti. I costituenti inorganici sono presenti sotto forma di particelle minerali, cui si dà il nome di “scheletro”, quando le dimensioni superano i 2 mm di diametro, e di “terra fine”, a sua volta distinta in “sabbia”, “limo” e “argilla”, quando le dimensioni delle particelle sono inferiori; prende pertanto il nome di tessitura la distribuzione percentuale nella terra fine delle frazioni granulometriche (sabbia, limo ed argilla) che la compongono.

L'analisi granulometrica ci fornisce una prima idea generale delle proprietà fisiche di un suolo; essa è anche uno strumento per assegnare ad ogni suolo il nome della sua “classe tessiturale”, ad esempio “franca”, “franco-sabbiosa”, “argillosa”. I nomi delle classi di tessitura ci danno un'idea della composizione relativa dei diversi gruppi di particelle e sono il risultato di analisi e valutazioni delle risposte e del comportamento dei suoli.

La tessitura può variare, nei suoli, da orizzonte ad orizzonte con la profondità; la tessitura dell'orizzonte superficiale interessa soprattutto a fini agricoli (lavorabilità, fertilità fisica di quello che, infatti, è anche chiamato “orizzonte coltivato”), ma per una migliore e più complessiva valutazione del comportamento funzionale dei suoli sotto il profilo ambientale è più utile prendere in considerazione uno strato profondo un metro. La tessitura, infatti, insieme al contenuto in sostanza organica, condiziona le proprietà fisiche dei suoli (struttura, porosità, capacità idrica e termica, peso specifico e profondità utile) ed influenza, così, i rapporti tra le fasi solida, liquida e gassosa del suolo, incidendo sui fenomeni collegati allo sviluppo delle piante, alla regolazione dei cicli naturali degli elementi, dei flussi dell'acqua e degli scambi di energia a livello della superficie terrestre.

L'indicatore tessitura riflette, fra l'altro, le difficoltà di lavorazione, i comportamenti e le risposte più facilmente visibili dei suoli, come la facilità di percolazione delle acque od i rischi di incrostamento e di suscettività all'erosione.

Nell'ambito delle elaborazioni effettuate per l'Atlante Agroclimatico nazionale (Perini, 2004) e per il Geodatabase sul rischio di desertificazione in Italia (Salvati *et al.* 2005), e sulla base dei dati di composizione granulometrica disponibili per ciascuna cella pedologica, i suoli sono stati classificati utilizzando il triangolo tessiturale USDA (Figura 5.4).

La riclassificazione delle classi tessiturali al fine di ottenere un indicatore elementare che possa esprimere la diversa vulnerabilità dei suoli ai fenomeni di degrado (Tabella 5.7) è stata condotta sulla base delle indicazioni fornite in letteratura dalle ricerche basate sul modello MEDALUS/ESA e sui criteri formulati da Salvati *et al.* (2005).



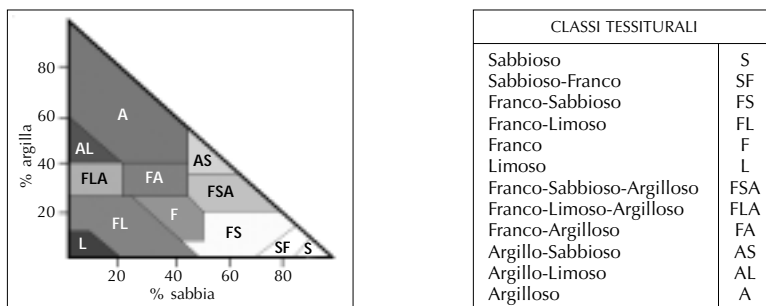


Figura 5.4. – Triangolo e classi tessiturali USDA (da Perini *et al.* 2004)

Tabella 5.7 – Classi tessiturali del triangolo USDA e vulnerabilità ai fenomeni di degrado delle terre

Classe	Tessitura	Vulnerabilità ai fenomeni di degrado
2	Sabbioso	Elevata
12, 13	Argillo-limoso, argilloso	Medio-alta
5	Franco-limoso	Medio-bassa
3, 4, 6, 8, 10	Sabbioso-Franco, Franco-sabbioso, Franco, Franco-sabbioso-argilloso, Franco-argilloso	Bassa

#### 5.4.1.2 – Materiale parentale (*substrato*)

Molte caratteristiche dei suoli dipendono dalle proprietà chimiche e fisiche della roccia madre. Suoli originatisi su differenti substrati reagiscono in maniera differente all'erosione e possono portare a gradi differenti di desertificazione. Ad esempio i suoli derivati da rocce calcaree cristalline sono generalmente poco profondi, facilmente erodibili e non consentono un rapido ripristino della vegetazione. Diverse aree su formazioni calcaree della regione mediterranea hanno già subito un processo di desertificazione, con la superficie del suolo erosa e la copertura della vegetazione completamente rimossa (Kosmas *et al.* 1999).

Caratteristiche simili presentano i suoli formati su rocce effusive acide, come ad esempio le andesiti, che presentano uno spessore molto ridotto, elevata erodibilità e conseguente elevato rischio di desertificazione. Al contrario, i suoli formati sui conglomerati e le rocce effusive basiche, nonostante la loro bassa produttività negli anni più piovosi, possono mantenere un discreto stato idrico anche durante gli anni siccitosi e, conseguentemente, una buona copertura vegetale del terreno ed una elevata produzione di biomassa.

Per quanto riguarda il substrato (*strato parentale*) ci si è basati sulla già citata Carta geologica d'Italia 1:500.000 che è stata riclassificata per tener conto del

diverso grado di predisposizione delle litologie rappresentate. È stata operata una suddivisione tra litologie più o meno consolidate (queste ultime più erodibili e quindi maggiormente predisponenti).

#### 5.4.1.3 – Pietrosità

La pietrosità ha un effetto determinante, anche se variabile, sul ruscellamento e sull'erosione del suolo, sulla capacità idrica dei suoli e sulla produzione di biomassa, tale da svolgere un importante ruolo nella protezione del suolo in ambiente mediterraneo (Kosmas *et al.* 1999). In generale, il ruscellamento e la perdita di sedimenti sono più evidenti nelle aree con notevole pietrosità superficiale. Le perdite di suolo dovute a piogge intense e prolungate aumentano all'incremento della percentuale della rocciosità superficiale anche del 20%. Al di sopra di questo valore, il limitato spazio tra le pietre impedisce la formazione di canali di erosione e quindi la perdita di suolo (Bunte & Poesen 1993). La presenza di ciottoli, nonostante l'aumento del ruscellamento e dell'erosione, consente una maggiore conservazione dell'umidità in condizione di moderato deficit idrico nel periodo primaverile e in quello estivo, i più cruciali per lo sviluppo e la produttività delle specie invernali.

In base alle considerazioni esposte, sono state proposte (Kosmas 1999) tre classi di pietrosità crescente alle quali corrisponde una maggiore vulnerabilità ai fenomeni di degrado; si individua, infatti, una classe a elevata vulnerabilità corrispondente ad un grado di pietrosità superiore al 60%, una classe a moderata vulnerabilità con pietrosità compresa fra 20% e 60% ed, infine, una classe a scarsa vulnerabilità con suoli caratterizzati da meno del 20% di componente pietrosa.

#### 5.4.1.4 – Contenuto in carbonio organico

La sostanza organica presente nel suolo è l'insieme dei componenti organici che si trovano nel terreno e sulla sua superficie, con l'esclusione della sola biomassa vegetale vivente. Il suo livello nel suolo è strettamente legato al ciclo degli elementi nutritivi e, in particolare, a quello del carbonio: i processi che contraddistinguono tale ciclo possono essere suddivisi in quattro fasi principali, corrispondenti agli apporti organici al suolo, alla loro degradazione, all'umificazione (attraverso processi di polimerizzazione e di sintesi che conducono alla formazione della porzione più stabile ed attiva, chiamata, appunto, "humus") e alla mineralizzazione. La sostanza organica ricopre un ruolo fondamentale per gli equilibri ambientali e per la fertilità fisica, chimica e biologica dei suoli; infatti, una buona dotazione di materiale organico assicura queste principali funzioni:

- migliora la struttura, la porosità e quindi l'aerazione e il drenaggio del suolo, aumenta la disponibilità di acqua per le piante, induce una maggiore resistenza al compattamento, alla formazione di croste superficiali e all'erosione, assicura una più intensa resistenza ai processi di desertificazione;

- accresce la disponibilità di nutrienti, incrementa il potere tampone ed avendo proprietà chelanti impedisce a ferro, fosforo e altre sostanze minerali di precipitare e divenire indisponibili per le piante;
- influisce sull'attività microbiologica, incidendo sulla regolarità dei cicli energetici, del carbonio, dell'azoto e degli altri elementi nutritivi;
- stimola l'attività degli enzimi ed incrementa la biodiversità microbica e l'attività della pedofauna;
- amplia la capacità dei suoli di adsorbire metalli e di inattivare e degradare inquinanti organici (residui di antiparassitari, solventi industriali, idrocarburi).

La quantità di sostanza organica nel suolo è controllata, in ambienti naturali, prevalentemente dal clima, mentre nelle aree coltivate è anche fortemente condizionata dalla gestione agricola. In questo lavoro è stato considerato il contenuto di carbonio organico, inteso come valore medio per cella pedologica ed espresso, a sua volta, dalla percentuale di carbonio organico misurato a circa 20 cm di profondità.

#### 5.4.1.5 – *Profondità del suolo*

La profondità utile è un indicatore sintetico dello spessore di suolo effettivamente esplorabile ed utilizzabile dalle radici delle piante per trarne acqua ed elementi nutritivi, con relazioni, quindi, con la fertilità edafica e con il grado e l'intensità con cui nei suoli si possono esprimere i processi di trasformazione e bio-degradazione.

La profondità del suolo influenza soprattutto lo sviluppo delle piante attraverso la presenza di un orizzonte di terreno sufficientemente profondo per lo sviluppo degli apparati radicali. Suoli formati su differenti tipi di roccia madre mostrano una diversa capacità di sostenere diversi tipi di copertura vegetale: gli orizzonti piroclastici, per esempio, impediscono lo sviluppo delle radici in quanto lo strato di suolo disponibile può essere anche di pochi centimetri. Se la profondità utile di suolo assume valori più bassi, tutte le forme di vegetazione perenne non possono essere supportate e solo poche specie vegetali sopravvivono.

I suoli derivanti da rocce metamorfiche, a parità di condizioni climatiche, presentano una maggiore capacità di supportare lo sviluppo di specie perenni, con una profondità del suolo minima di soli 4-5 cm. In generale, un suolo profondo garantisce una maggiore copertura vegetale per la possibilità che le piante hanno di trovare una maggiore riserva idrica, e offre una maggiore resistenza all'erosione e alla desertificazione.

La profondità dei suoli si valuta, generalmente, identificando il contatto fra suolo e substrato geologico non pedogenizzato: può essere pochi centimetri in paesaggi montani con rocce poco alterabili, qualche decimetro, o anche più di un metro, nelle pianure alluvionali, in ecosistemi temperati. Al con-

cetto di “profondità pedogenetica” (che, come visto, segna il passaggio da suolo a sottosuolo) si viene funzionalmente a sovrapporre quello di “profondità funzionale” o “profondità utile”, in relazione alle pratiche ed all’utilizzazione di specifici suoli.

Nella valutazione della profondità utile, pertanto, oltre alla identificazione del contatto fra suolo e sottosuolo, interessa sapere, ad esempio, se alcuni orizzonti sono così densi ed induriti da impedire l’approfondimento delle radici, oppure se vi è acqua libera, tale da indurre asfissia nella maggior parte delle piante coltivate, o da condizionare lavori di scavo, posizionamento di tubature, isolamento di seminterrati.

Analogamente, un suolo può essere funzionalmente profondo se il substrato incoerente, pur non pedogenizzato, presenta caratteri favorevoli per le destinazioni d’uso previste per quel suolo. La “profondità utile” è una proprietà che esprime bene le potenzialità e le limitazioni delle risorse pedologiche, dal livello planetario a quello della singola azienda agricola: con un ordine di grandezza che va da pochi centimetri a qualche metro, abbiamo la possibilità, in modo estremamente sintetico, di capire se il suolo che utilizziamo, oltre che essere di tessitura equilibrata e con pochi o nulli frammenti rocciosi, è anche idoneo a sostenere, in modo produttivo, le scelte colturali e gestionali.

#### 5.4.1.6 – *Drenaggio del suolo*

Dopo una pioggia o una irrigazione l’acqua che si infiltra nel suolo ed occupa i macropori prende il nome di gravitazionale: questa acqua non è trattenuta e viene rimossa col drenaggio, qualità che esprime quindi la capacità dei suoli di smaltire, per percolazione o scorrimento superficiale, le acque in eccesso (non trattenute per capillarità e non utili per la nutrizione idrica delle piante) pervenute sulla sua superficie. Il drenaggio è una proprietà dei suoli in genere abbastanza facilmente correlabile con il paesaggio, che spesso concorre a caratterizzare; ad esempio è facile osservare come, frequentemente, le difficoltà di drenaggio si traducano in colori superficiali scuri e in vegetazione spontanea igrofila. La conoscenza del drenaggio è utile per valutare numerosi comportamenti funzionali dei suoli: capacità d’uso, attitudine allo spandimento di reflui zootecnici, rischi di vulnerabilità, attitudine all’irrigazione, lavorabilità e trafficabilità.

Le difficoltà nel drenaggio possono provocare ristagni superficiali, ostacolare la gestione agricola, costringendo ad esempio ad effettuare le lavorazioni in condizioni di umidità dei suoli non ottimali, con possibili impatti negativi sulla struttura. La minore areazione e le condizioni più riducenti, che la prolungata presenza di acqua nel suolo comporta, creano, nelle situazioni più estreme, un ambiente poco adatto alla crescita delle piante e favoriscono la denitrificazione e la mobilità dei metalli pesanti.

#### 5.4.1.7 – *Available water capacity (AWC)*

È una grandezza che rappresenta la quantità di acqua che un suolo può immagazzinare e che risulta disponibile per le piante. Essa indica l'acqua trattenuta tra la capacità di campo ed il punto di appassimento. Si supponga che, a seguito di una pioggia o di un intervento irriguo, tutta la porosità del terreno sia occupata dall'acqua (saturazione idrica). A meno che non vi siano condizioni particolari, la gravità agisce sull'acqua favorendone il movimento verso il basso (percolazione) e, in un periodo variabile da uno a tre giorni, l'acqua contenuta nei pori più grandi viene perduta. Ad un certo punto la velocità con cui l'acqua percola diventa tanto lenta da poter essere trascurata: l'acqua è contenuta nella porosità del suolo di più piccola dimensione. Si arriva così ad un valore di umidità nel suolo che costituisce una riserva di grande interesse per la vita delle piante: la capacità di campo. L'evaporazione e l'assorbimento idrico da parte delle piante sono fenomeni in grado di prosciugare ulteriormente il terreno; ad un certo punto, la forza adsorbente dei vegetali non riesce più a vincere la forza con cui il suolo trattiene l'acqua, l'assorbimento cessa e le piante muoiono: il suolo è al punto di appassimento.

Nelle aree in cui le piante utilizzano una quantità d'acqua maggiore di quella che le piogge riescono ad apportare al suolo, la capacità d'acqua disponibile del suolo può essere decisiva per la crescita vegetale. Infatti, essa è necessaria per sostenere la crescita delle piante tra due eventi piovosi e/o interventi d'irrigazione. I suoli costituiscono una riserva d'acqua che soccorre le coltivazioni nei periodi di deficit idrico. L'acqua disponibile è espressa come una frazione del volume (0,20), come percentuale (20%), o come quantità (in cm). Un esempio di frazione del volume sono i cm di acqua per cm di suolo. Se un suolo ha una frazione di acqua disponibile di 0,20, uno spessore di 25 cm contiene 5 cm di acqua disponibile (1 cm corrisponde a 100 m<sup>3</sup>/ha).

I frammenti rocciosi riducono la capacità di acqua disponibile in proporzione diretta al loro volume, a meno che le rocce non siano porose. La sostanza organica incrementa la capacità di acqua disponibile. Ogni 1% di sostanza organica incrementa di circa il 10% l'acqua disponibile di un suolo. La tessitura del suolo è il fattore che determina in misura maggiore il livello di acqua disponibile.

La struttura di un suolo è altrettanto determinante. In un terreno con scarsa struttura, le particelle sono strettamente addossate le une alle altre ed i pori capaci di trattenere l'acqua sono meno numerosi di quelli posseduti da un terreno con struttura evidente. Un suolo argilloso con struttura evidente può contenere 1,5 volte più acqua disponibile di un suolo argilloso massivo. La profondità delle radici influenza la capacità totale di acqua. Un suolo che presenti una barriera alla crescita delle radici a 50 cm ed abbia una frazione di acqua disponibile di 0,20 possiede 10 cm di acqua disponibile. Un altro suolo che abbia una frazione di acqua disponibile inferiore, ad esempio 0,10, potreb-

be, se le radici si estendono alla profondità di 150 cm, avere 15 cm di acqua disponibile: per le colture con apparati radicali poco profondi, come la cipolla, l'acqua disponibile al di sotto di 60 cm è di scarso significato. Per colture con apparati radicali profondi, come il mais, l'acqua disponibile, presente in profondità, risulta molto importante.

#### 5.4.1.8 – *Pendenza*

In termini generali l'erosione idrica è dovuta alla concomitanza di fattori quali superfici acclivi, frequenza delle piogge intense e, per i terreni agrari, da tecniche colturali poco razionali. La pendenza viene utilizzata nella maggior parte delle applicazioni MEDALUS/ESA come indicatore proxy per il rischio di erosione idrica, quando non sono disponibili modelli più articolati quali ad esempio l'*Universal Soil Loss Equation* (USLE) o la *Revised Universal Soil Loss Equation* (RUSLE).

#### 5.4.2 – *Caratteristiche della copertura vegetale*

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

Gli indicatori chiave del rischio di desertificazione in relazione all'uso del suolo e alla copertura vegetale presente, sia di origine naturale che agricola, sono: *i*) il rischio d'incendio, *ii*) la protezione dall'erosione, *iii*) la resistenza alla siccità e *iv*) la percentuale di terreno coperto dalla vegetazione. Tali indicatori sono stati individuati in accordo con la metodologia ESA/MEDALUS (cfr. Kosmas 1999). Dopo un'attenta valutazione delle diverse fonti cartografiche relative all'uso e alla copertura del suolo, è stata utilizzata la carta di uso del suolo CORINE Land Cover in scala 1:100.000. La scelta è stata dettata da diverse ragioni, tra cui il fatto che le informazioni relative all'uso del suolo della carta CORINE sono facilmente paragonabili a informazioni dello stesso tipo di altre regioni europee, essendo stata realizzata nell'ambito dal programma comunitario CORINE (CooRdination de l'Information sur l'Environnement).

Le classi di uso del suolo presenti nella legenda CORINE (III livello) sono state di volta in volta analizzate a seconda dell'indicatore considerato, e inserite in una determinata classe di vulnerabilità alla desertificazione, sulla base di

criteri già adottati in esperienze di applicazione ESA/MEDALUS o sviluppati ex-novo.

Nei paragrafi seguenti verranno descritti gli indicatori utilizzati e i tipi vegetazionali della classificazione CORINE corrispondenti. Tale classificazione è stata condotta sulla base delle più recenti ricerche nell'ambito della cartografia ESA (per una disamina completa si rimanda a Salvati *et al.* [2005] e a Ceccarelli *et al.* [2006]).

#### 5.4.2.1 – *Vegetazione a rischio d'incendio potenziale*

Nell'area del bacino del Mediterraneo il fuoco rappresenta una delle cause principali di degrado del suolo. La frequenza degli incendi è aumentata drasticamente durante gli ultimi decenni con conseguenze spesso drammatiche per l'erosione dei suoli e la biodiversità. A parte i casi in cui l'incendio è di origine antropica, utilizzato come tecnica di miglioramento dei pascoli, l'infiammabilità della vegetazione tipicamente mediterranea è molto alta a causa della presenza di un numero notevole di specie con un elevato contenuto di resine e di olii essenziali. Le specie della macchia mediterranea rispondono al fuoco in modo differente a seconda dell'intensità dell'incendio, della stagione di crescita e dello stadio di maturazione delle piante. Ad esempio, per le specie afferenti al genere *Quercus*, gli incendi che si sviluppano in inverno o in primavera non danneggiano lo sviluppo dei germogli, mentre gli incendi estivi e autunnali, molto più intensi, riducono notevolmente l'abilità di germogliamento di tali specie.

La vegetazione mediterranea ha un'elevata capacità di recupero dopo il verificarsi di un incendio e i problemi ambientali legati al fuoco permangono per un limitato numero di anni dopo che l'incendio si è verificato. Il processo di recupero è legato ad una serie di parametri sia di natura antropica che naturale, oltre che alle caratteristiche dell'incendio e del sito interessato: anni caratterizzati da siccità prolungata, pascolamento eccessivo o cambiamenti nell'uso del suolo possono rallentare o impedire irreversibilmente il recupero della vegetazione naturale. Da diversi studi (Clark 1996), un fattore molto importante risulta l'intervallo di tempo intercorso tra due eventi successivi.

Nel caso di elevata frequenza di incendi si verifica non solo un danno diretto alla vegetazione erbacea e forestale, ma anche la modificazione di importanti caratteristiche fisico-chimiche del suolo, come il contenuto di sostanza organica e di elementi nutritivi, la stabilità della struttura, l'innescio di processi erosivi.

Il degrado delle terre dovuto al fuoco è pertanto legato alle caratteristiche intrinseche della vegetazione nonché a tutti i parametri insiti nella durata, gravità e frequenza degli incendi; in questo indicatore vengono analizzati gli aspetti relativi al tipo di vegetazione. Nella Tabella 5.8 sono riportate le categorie vegetazionali classificate in base al rischio potenziale di incendio.

Tabella 5.8 – Classi vegetazionali per livello di rischio di incendio potenziale

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

#### 5.4.2.2 – Resistenza alla siccità

Gli ecosistemi mediterranei hanno sviluppato nel corso del tempo una elevata resistenza alla siccità grazie a numerosi adattamenti di natura anatomica ed ecofisiologica delle specie. Molte di esse sono in grado di resistere a condizioni di deficit idrico severe e prolungate nel tempo, per cui le risposte fisiologiche della vegetazione ad una graduale riduzione delle precipitazioni possono essere messe in evidenza solo dopo un numero critico di anni siccitosi. Tra le specie agrarie prevalenti in ambiente mediterraneo, l'olivo presenta una spiccata adattabilità e resistenza a periodi siccitosi anche piuttosto lunghi, mentre le specie decidue e le colture agricole annuali risultano meno adatte.

Tabella 5.9 – Classi vegetazionali per livello di protezione dai fenomeni erosivi

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

La principale risposta da parte della pianta alla ridotta disponibilità idrica è data dalla riduzione dell'indice di area fogliare (Leaf Area Index, LAI), con la conseguente riduzione dell'attività respiratoria; dal punto di vista del rischio di desertificazione, si riduce in questo modo l'azione protettiva della copertura vegetale e si intensificano i processi di erosione. Il degrado delle terre viene mitigato dalla resistenza alla siccità che rappresenta, pertanto, una caratteristica intrinseca della vegetazione. Nella Tabella 5.10 vengono riportate le categorie vegetazionali classificate in base al grado di resistenza alla siccità.



Tabella 5.10 – Classi vegetazionali per livello di resistenza alla siccità

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

#### 5.4.2.3 – Grado di copertura vegetale

Molti studi (e.g., Francis & Thornes, 1990) hanno dimostrato come il ruscellamento e la perdita di suolo diminuiscono notevolmente all'aumentare della percentuale di copertura del suolo da parte della vegetazione. Una porzione di territorio è considerata desertificata quando la produzione di biomassa per unità di superficie si trova al di sotto di una determinata soglia. In termini di percentuale di copertura vegetale, tale soglia è stata individuata nel 40% di copertura; oltre questo valore di riferimento, in zone acclivi, si verificano condizioni di accelerata erosione. Il valore di tale soglia può cambiare in funzione del tipo di vegetazione, dell'intensità della pioggia e delle caratteristiche del territorio, ma il degrado del terreno inizia solo quando una porzione sostanziale (circa il 40%, appunto) del terreno è spoglia. Nella tabella viene presentata una categorizzazione delle tipologie vegetazionali in base al grado di copertura del terreno, espresso in termini percentuali.

Tabella 5.11 – Classi vegetazionali per grado di copertura vegetale

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

#### 5.4.2.4 – Indice di resistenza alla siccità e al degrado

Per quanto riguarda i fattori di predisposizione ai fenomeni di degrado delle terre, relativamente alla componente vegetazionale, è stato anche proposto un indicatore di sintesi al fine di tenere in considerazione contemporaneamente gli

aspetti di protezione dall'erosione, mitigazione del rischio potenziale di incendio, grado di copertura vegetale e livello di resistenza alla siccità (Salvati et al. 2005). Si tratta, quindi, di una semplificazione rispetto ai quattro indicatori di qualità della vegetazione proposti nel modello ESA classico, che procede comunque attraverso riclassificazione della cartografia di uso del suolo Corine, attraverso 10 categorie le classi variano da 1 (minima qualità) a 0 (massima qualità).

Tabella 5.12 – Classi vegetazionali per predisposizione ai fenomeni di degrado

Codice Corine	Descrizione della classe	Coefficiente
111	Tessuto urbano continuo	1
112	Tessuto urbano discontinuo	1
121	Aree industriali o commerciali	1
122	Reti stradali e ferroviarie e spazi accessori	1
123	Aree portuali	1
124	Aeroporti	1
131	Aree estrattive	1
132	Discariche	1
133	Cantieri	1
141	Aree verdi urbane	1
142	Aree sportive e ricreative	1
211	Seminativi in aree non irrigue	0,7
212	Seminativi in aree irrigue	0,3
213	Risaie	0,3
221	Vigneti	0,5
222	Frutteti e frutti minori	0,4
223	Oliveti	0,4
231	Prati stabili	0,3
241	Colture annuali associate a colture	0,6
242	Sistemi colturali e particellari complessi	0,6
243	Colt. agrarie prevalenti con presenza di spazi naturali	0,6
244	Aree agroforestali	0,2
311	Boschi di latifoglie	0
312	Boschi di conifee	0,1
313	Boschi misti	0
321	Aree a pascolo naturale e praterie d'alta quota	0,3
322	Brughiere e cespuglieti	0,4
323	Aree a vegetazione sclerofilla	0,3
342	Aree a vegetazione boschiva e arbustiva in evoluzione	0,3
331	Spiagge, dune, sabbie e ciottolami dei greti	1
332	Rocce nude, falesie, rupi, affioramenti	1
333	Aree con vegetazione rada	0,9
334	Aree percorse da incendio	0,9
335	Ghiacciai e nevi perenni	0
411	Paludi interne	0
412	Torbiere	0
421	Paludi salmastre	0
422	Saline	1
423	Zone intertidali	0
511	Corsi d'acqua, canali e idrovie	0
512	Bacini d'acqua	0
521	Lagune	0
522	Estuari	0
523	Mari	0

### 5.4.3 – *Rischio di erosione*

Buona parte del territorio italiano è soggetto a rischio di erosione accelerata a causa della notevole energia di rilievo e dell'erosibilità dei suoli. L'erosione potenziale diventa reale quando a questi fattori di rischio si associano gli interventi agronomici effettuati senza criteri conservativi. Il rischio d'erosione è aumentato, negli ultimi decenni, anche a causa dell'aumento dell'erosività delle piogge, che presentano scrosci più intensi ed eventi notevoli più ravvicinati. La diminuzione dell'erosione a scala geografica nazionale, dovuta ai rimboschimenti e all'abbandono dell'agricoltura nelle zone più svantaggiate, non deve trarre in inganno. Infatti, l'erosione del suolo appare preoccupante anche nelle zone collinari di pregio, dove è andata intensificandosi la meccanizzazione.

L'European Soil Bureau del Centro Comune di Ricerca di Ispra ha elaborato una carta di valutazione del rischio di erosione del suolo in Italia. Lo studio è basato sulla determinazione del rischio di erosione potenziale (potential soil erosion risk) ed effettivo (actual soil erosion risk) in base ai principi e ai parametri definiti dalla Universal Soil Loss Equation (USLE), modello di calcolo empirico di tipo moltiplicativo che combina fattori di vulnerabilità del suolo (climatici o di erosività, di erodibilità, topografici) ed informazioni relative all'influenza antropica (attività colturali e pratiche antierosive). La formula è stata opportunamente modificata per poterla adattare alle condizioni dell'Italia (climatiche, pedologiche, etc.), ai metodi colturali specifici ed alla diversa scala di applicazione; è stata, infatti, inizialmente studiata per una applicazione a scala locale e non regionale.

La carta elaborata dall'European Soil Bureau del Joint Research Centre (Ispra), utilizza come fonte di dati il Mars meteorological database per i dati climatici necessari alla costruzione dell'indice R, il Soil Geographical Database of Europe 1:1.000.000 per le informazioni relative alle classi tessiture dei suoli usate per costruire l'indice K, il CORINE Land Cover database integrato con immagini NOAA AVHRR (Advanced Very High Resolution Radiometer) per la costruzione dell'indice C, il DEM (Digital Elevation Model) con risoluzione pari a 250 m per i dati relativi ai fattori L e S.

Attraverso la formula di Wischmeier si stima la perdita di suolo (A) che risulta proporzionale ad un parametro, detto erosività delle piogge R (Rainfall erosivity factor), attraverso una serie di fattori moltiplicativi:

$$A = R * K * L * S * C$$

dove:

A = (Mean annual soil loss): perdita di suolo stimata (tonn/ha/anno);

R = (Rainfall erosivity factor): fattore di pioggia o di erosività, è il numero di unità dell'“indice di erosione” e determina la forza erosiva e l'energia cinetica della pioggia ( $\text{MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} 0,25\text{y}^{-1}$ );

K = (Soil erodibility factor): fattore di erodibilità del suolo, tiene conto della erodibilità intrinseca di un determinato suolo ed è definito come la perdita di suolo, misurata in t/ha/anno per unità di indice R della pioggia ( $t \text{ ha h ha}^{-1} \text{ MJ}^{-1} \text{ mm}^{-1}$ );

L = (Slope length factor): fattore di lunghezza di un versante;

S = (Slope factor): fattore di pendenza di un versante;

C = (Cover management factor): fattore di copertura vegetale.

La pendenza e le altre caratteristiche topografiche sono molto importanti nel determinare il livello di erosione di un suolo, che è considerato grave quando l'angolo di pendenza raggiunge valori pari o maggiori rispetto ad una soglia critica e successivamente cresce in modo esponenziale. In superfici acclivi, il rischio di erosione dipende, inoltre, dalla frequenza delle precipitazioni intense.

Come già detto, il rischio d'erosione è stato valutato sia in termini effettivi (actual erosion risk) che potenziali (potential erosion risk). Il risultato che interessa è quello relativo al rischio di erosione effettivo, espresso in tonn/ha/anno. L'applicazione del modello USLE ha determinato, in alcune aree, stime di perdita del suolo molto elevate, superiori a 100 tonn/ha/anno, che dovrebbero essere considerate come anomale. Le aree con stime superiori a questa soglia sono state escluse nel nostro studio dalle analisi successive.

Nei terreni agrari ad elevata pendenza sono maggiori i rischi di erosione dovuti a lavorazioni poco razionali (al riguardo si veda anche l'indice del rischio di compattazione dei suoli agrari). Il calcolo delle classi di pendenza è stato effettuato attraverso l'elaborazione di un DEM (Digital Elevation Model) con risoluzione spaziale di 20 metri. Si è ritenuto opportuno apportare questa correzione in modo da considerare classi di pendenza standard che trovano ampio riscontro in letteratura (cfr. Madrau *et al.*, 1999). Per quanto concerne i fenomeni erosivi, il dato di partenza è pertanto quello fornito dallo studio del Joint Research Center di Ispra e dell'European Soil Bureau, "Soil Erosion Risk Assessment in Italy" di J.M. van der Knijff, R.J.A. Jones, L. Montanarella, pubblicato nel 1999<sup>6</sup>. Il dato che interessa in questo contesto è l'"actual soil erosion risk" calcolato in termini di perdite di suolo annue (t/ha/yr).

#### 5.4.3.1 – Protezione dall'erosione

La vegetazione e l'uso del suolo, insieme alle precipitazioni, sono i fattori che regolano l'intensità del ruscellamento superficiale e dell'erosione. Vaste aree in cui dominano colture in asciutto, come i cereali, la vite, il mandorlo e l'olivo sono localizzate in aree collinari con suoli poco profondi molto sensibili all'erosione. Il rischio di erosione e di desertificazione per tali aree tende ad aumentare a causa della ridotta protezione da parte della copertura vegetale nei confronti dell'effetto battente della pioggia sul terreno, e per il ruscellamento su-

<sup>6</sup> [http://eusoils.jrc.it/ESDB\\_Archive/serae/grimm/italia/eritaly.pdf](http://eusoils.jrc.it/ESDB_Archive/serae/grimm/italia/eritaly.pdf)

perficiale. Le tecniche colturali adottate per molte colture agrarie, come ad esempio i vigneti, i frutteti e gli oliveti prevedono lavorazioni frequenti nell'interfila: il suolo rimane, pertanto, nudo per buona parte dell'anno, creando le condizioni favorevoli per il ruscellamento e l'erosione.

Prove sperimentali condotte in diverse aree del bacino del Mediterraneo caratterizzate da differenti tipi di utilizzo del suolo e di vegetazione naturale hanno mostrato come le perdite di suolo maggiori si verificano nelle aree collinari in cui domina la viticoltura. Inoltre, le aree coltivate con colture annuali come i cereali autunno-vernini (frumento, orzo, etc.) lasciano il suolo nudo durante la stagione più piovosa (autunno), favorendo i fenomeni relativi alla perdita dei sedimenti e al degrado del suolo, specialmente con valori di precipitazione annua superiori a 380 mm (Kosmas *et al.* 1999). Per quanto riguarda le colture perenni come l'olivo, i fenomeni di erosione dipendono dall'acclività del terreno e, in particolare, dalla presenza o meno di inerbimento sottochioma.

Nelle aree in cui è presente la vegetazione naturale a macchia, tipica degli ecosistemi mediterranei, si è notata (Kosmas *et al.* 1999) una protezione medio-alta dall'erosione che dipende dall'entità del cumulo annuale di precipitazione: partendo da valori elevati di precipitazione, fino a 280-300 mm, l'erosione aumenta, mentre a valori inferiori si ha una riduzione progressiva del fenomeno. In conclusione, la migliore protezione dall'erosione è favorita in aree in cui dominano querce, olivi e conifere con sottobosco ben sviluppato. Il degrado delle terre dovuto ai fenomeni erosivi è quindi strettamente legato alle caratteristiche intrinseche della vegetazione; nella tabella 4 vengono riportate le categorie vegetazionali classificate in base all'indice di protezione dall'erosione.

#### 5.4.4 – *Fattori di pressione antropica*

L'individuazione delle aree vulnerabili ai fenomeni di degrado delle terre prevede anche lo studio dell'utilizzo del territorio da parte dell'uomo. Il tipo di gestione dipende da un insieme di fattori di diversa natura: fattori ambientali, pedologici, climatici, ma anche sociali, economici, politici e tecnologici.

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

Un altro aspetto particolare è il progressivo abbandono delle terre, dovuto a ragioni economiche e sociali, nonché alla maggiore produttività dell'agricoltura e al conseguente passaggio da agricoltura estensiva ad intensiva. I territori agricoli abbandonati possono essere interessati da fenomeni di deterioramento o di miglioramento delle caratteristiche del suolo a seconda del tipo particolare

di suolo e delle condizioni climatiche dell'area. Le caratteristiche pedologiche delle aree collinari che possono sostenere una copertura vegetale sufficiente possono migliorare nel tempo attraverso l'accumulo di sostanza organica, l'aumento dell'attività biologica delle componenti biotiche sia animali che vegetali, il miglioramento della struttura e della permeabilità del suolo, con la conseguente riduzione del rischio di erosione (Kosmas *et al.* 1995). Nei sistemi di degrado delle terre per urbanizzazione e per l'agricoltura questo argomento sarà affrontato mediante appositi indicatori.

#### 5.4.1.1 – Intensità d'uso del suolo agro-forestale

Questo indicatore consente di fare considerazioni sintetiche relativamente al diverso uso dei suoli che insiste su un dato territorio in termini di intensificazione urbana, turistica, agricola e silvo-pastorale. Ad esempio, per quanto concerne le aree agricole, si considerano parametri quali il tipo di coltura, la presenza o assenza di irrigazione, il livello di meccanizzazione, l'utilizzo di concimi, erbicidi e pesticidi, distinguendo in questo modo le aree ad agricoltura intensiva e le aree ad agricoltura estensiva. Questo indicatore è pertanto legato alle tipologie di uso del suolo del Corine, secondo i criteri indicati in Motroni *et al.* (2004) con opportune integrazioni, come restituito nella specifica tabella 5.13.

Tabella 5.13 – Classi vegetazionali per intensità nell'uso del suolo

Classi Corine	Tipo di coltura	Intensità d'uso
2.1.2, 2.2.1, 2.2.2, 2.4.2	Seminativi in aree irrigue, vigneti, frutteti, sistemi colturali complessi	Alta
2.1.1, 2.3.1, 2.4.1, 2.4.3	Colture annuali associate a colture permanenti, Seminativi non irrigui, oliveti, prati stabili	Intermedia
3.2.4, 3.3.4	Aree percorse da incendio, aree a vegetazione boschiva e arbustica	Bassa
2.2.3, 2.4.4, 3.1.1, 3.1.2, 3.1.3, 3.2.1, 3.2.2, 3.2.3	Oliveti, aree agro-forestali, boschi di latifoglie, boschi di conifere, boschi misti, aree a pascolo naturale, brughiere e cespuglietti, aree a vegetazione sclerofilla	Nulla

#### 5.4.4.2 – Sovrappascolo

Il sovrappascolo costituisce una pressione ambientale per le aree naturali mediterranee anche come determinante nei fenomeni di desertificazione. Il pascolo ha rappresentato per le regioni peninsulari la destinazione d'uso prevalente per le aree dove la morfologia, il clima, la copertura vegetale e il suolo sono inadatti ad un uso agricolo intensivo (Motroni *et al.* 2004). Inoltre, le maggiori disponibilità economiche ed il crescere del livello tecnologico del settore agro-pastorale hanno accelerato la diminuzione del numero degli addetti

presenti nel settore, ma al contempo hanno permesso l'incremento del carico animale gravante sui pascoli con conseguente degrado di queste aree. Inoltre, la specializzazione dei piccoli ruminanti verso la produzione del latte implica che l'allevatore abbia necessità di foraggi freschi per gran parte dell'anno senza i quali non sarebbe possibile ottenere produzioni significative. Questa necessità costringe gli allevatori a mantenere inerbito lo stesso pascolo e ad estenderne la superficie interessata attraverso le classiche pratiche dell'aratura e dell'incendio. Un eccessivo carico di bestiame porta non solo ad una drastica riduzione della vegetazione naturale, ma anche all'elevato costipamento da calpestio.

Seguendo la metodologia proposta da Motroni *et al.* (2004), attraverso una semplificazione della procedura in accordo con i dati statistici disponibili, il calcolo dell'intensità d'uso per le aree a pascolo è stato effettuato attraverso il confronto fra la superficie a prato-pascolo e la densità (in unità U.B.A.) dei capi bovini, ovi-caprini ed equini insistenti nel medesimo comune. L'Unità di Bestiame Adulto (U.B.A.) è l'unità in base alla quale viene espressa la consistenza media dell'allevamento con riferimento alla vacca lattifera (che vale 1 U.B.A.), ottenuta tramite equiparazioni ponderali delle varie specie di interesse zootecnico. La rappresentazione del numero di capi presenti sul territorio avviene usualmente mediante unità U.B.A. Nel nostro studio, avvalendoci dei dati della consistenza degli allevamenti di fonte censuaria, abbiamo utilizzato un sistema di pesi (e.g. Trisorio 2005) semplificato rispetto all'originale (i.e., Bovini e bufalini [0,8], Equini [0,6], Ovi-caprini [0,1], Suini [0,4], Avicoli [1,6 per 100 capi]). Per maggiori dettagli si rimanda al lavoro di Salvati *et al.* (2005). L'indicatore considerato esplicita, pertanto, quanto il carico di bestiame attuale possa essere sostenuto dalla vegetazione presente. Per elevati valori dell'indicatore si ha un eccessivo sfruttamento del pascolo ed il possibile innesco dei processi di impoverimento e degrado del suolo, poiché la quantità di sostanza secca prodotta è inferiore a quella necessaria per il mantenimento del bestiame.

#### 5.4.4.3 – *Incendi forestali*

Il fuoco rappresenta uno strumento di modificazione ambientale: frequenza, durata, intensità e fenologia stabiliscono il tipo di incendio ed il suo regime, che si traduce in un diverso grado di modifica dell'ecosistema. Gli incendi, infatti, incidono, talvolta irreversibilmente, sulla composizione e struttura della vegetazione, con conseguenze rilevanti anche sul suolo, lasciato esposto alla radiazione solare che ne influisce sulle proprietà bio-fisiche. Sebbene l'incendio possa avere un ruolo benefico nell'ecologia di determinati ecosistemi (si pensi, ad esempio, al suo ruolo nel mantenimento della biodiversità, nel determinare la selezione di talune forme utili ed il rinnovo di molte specie, nel favorire la mobilitazione del ciclo di molte sostanze nutritive), nel bacino del Mediterraneo la sua presenza è favorita dal clima arido estivo e dalla vegetazione dominata da specie xerofite, in parte adattate a questo tipo di stress ambientale.

L'accentuata frequenza degli incendi forestali o della macchia mediterranea porta a forme di degrado delle terre sensibili all'azione erosiva delle acque, a causa della migrazione delle sostanze organiche residue nell'orizzonte sottostante, dove costituiscono uno strato impermeabile repellente. Nei terreni acclivi tale fenomeno assume una certa rilevanza, in quanto l'acqua piovana si infiltra dapprima agevolmente sullo strato superficiale del terreno, ma quando viene a contatto con lo strato sottostante impermeabile, tende a creare uno strato di scivolamento che si muove in base alla maggiore pendenza.

Nel nostro Paese, i grandi problemi delle aree interne e montuose sono stati contrassegnati dal rapporto conflittuale del pascolo con il bosco e dalla necessità di acquisire ulteriore spazio fertile per dedicarlo alle coltivazioni. L'uso antropico del fuoco, legato alla trasformazione degli ecosistemi forestali in agricoli e finalizzato ad un'utilizzo zootecnico dei terreni, ha portato in estese aree del meridione a fenomeni di erosione superficiale, formazione di canali di scorrimento delle acque di deflusso e successive formazioni calanchive, con conseguenze rilevanti sui processi di lisciviazione e ruscellamento (perdita di suolo e dei suoi nutrienti).

Intorno agli anni '70, gli incendi boschivi cominciano ad assumere in Italia una dimensione estremamente significativa, così da rappresentare una minaccia diretta per l'intero patrimonio forestale. L'aumento del carico antropico sul territorio ed il progressivo inaridimento del clima hanno reso più vulnerabile il territorio agli incendi, soprattutto nelle aree marginali, inserite in contesti economici poveri e socialmente arretrati. Infatti, sebbene il fattore climatico abbia una notevole influenza sulla propagazione degli incendi forestali, tale fenomeno non presenta un andamento uniforme sul territorio e, a parità di condizioni climatiche, l'afflusso turistico, lo spopolamento rurale e l'attività di peculiari pratiche agronomiche e pastorizie ne favoriscono lo sviluppo. La superficie percorsa dal fuoco scaturisce soprattutto da incendi di dimensioni medio-grandi (che interessano cioè, superfici superiori a 1 km<sup>2</sup>). Fra le varie tipologie di superficie colpita annoveriamo soprattutto i boschi cedui semplici e matricinati (ISSI 2002). Nel 2001, la superficie forestale danneggiata da incendi è stata pari allo 0,4% dell'intero patrimonio nazionale, con valori più elevati in Puglia e Sicilia. La totalità degli incendi è di origine antropica e negli ultimi anni il 70% è risultata di origine dolosa (AmbienteItalia 2003).

L'indicatore utilizzato è la superficie forestale che annualmente viene percorsa dal fuoco, espressa in km<sup>2</sup> e restituita a livello comunale come percentuale rispetto alla superficie totale.

#### 5.4.4.4 – *Rischio di compattamento dei suoli agrari*

La compattazione costituisce un grave processo di degradazione, che provoca, da una parte, una perdita della fertilità dei suoli e, dall'altra, un notevole aumento del ruscellamento superficiale in quanto l'acqua non è in grado di



infiltrarsi nel suolo; conseguentemente, anche il rischio di erosione idrica aumenta. La compattazione riduce lo spazio a disposizione delle radici limitando in tal modo l'assorbimento di acqua e di elementi nutritivi da parte delle piante, determinando così una diminuzione delle rese produttive. La perdita della stabilità della struttura, dovuta al collasso delle pareti dei pori, si traduce in una diminuzione della capacità di infiltrazione: ciò determina che l'acqua satura il suolo più facilmente ed anche la temperatura del suolo diminuisce. Queste condizioni rallentano l'attività dei microrganismi del terreno e, conseguentemente, la decomposizione della sostanza organica ed il rilascio dei nutrienti. Inoltre, si possono manifestare processi di denitrificazione (l'azoto nitrico viene trasformato e perduto nell'atmosfera) o produzione di gas tossici per le piante in prossimità delle radici.

I metodi convenzionali di coltivazione con massiccio intervento meccanico, lavorazioni profonde ed uso continuativo di prodotti chimici, pur avendo l'effetto immediato di aumentare la fertilità dei terreni agrari, nel lungo termine tendono a provocare la loro degradazione strutturale con la concomitante diminuzione del contenuto di sostanza organica, cui fa seguito una riduzione della fertilità. Essa conduce ad un uso crescente di mezzi tecnici (macchine, fertilizzanti, diserbanti) con conseguente aumento del rischio di inquinamento ambientale ed incremento dei costi di produzione. Nei paesi a clima temperato, dove si ha formazione di humus stabile, occorrono alcuni decenni per esaurire le riserve di fertilità del terreno. Tale processo, quando innescato, appare irreversibile, e manca tuttora un sistema conveniente per riportare a coltura un terreno divenuto sterile. Il suolo viene considerato come elemento dinamico e come risorsa naturale non rinnovabile: pertanto, in questa ricerca, alcuni indicatori ambientali selezionati nelle aree tematiche 'suolo' e 'pressione antropica' sono finalizzati alla valutazione della pressione agricola derivante dalla meccanizzazione, dalle lavorazioni, dall'irrigazione, dall'allevamento, dall'intensificazione agricola.

Uno dei maggiori rischi per i terreni su cui si esercita l'attività agricola è rappresentato dal fenomeno del compattamento del suolo, derivante in primis dal ripetuto passaggio di macchine operatrici. Tale fenomeno è stato posto in relazione a numero e potenza delle trattrici ed operativizzato mediante un indicatore sintetico che utilizza dati censuari (APAT 2004). La compattazione, infatti, viene definita come la compressione della massa di suolo in un volume minore, che si ripercuote in cambiamenti significativi delle proprietà strutturali, della conduttività idraulica e termica, nonché delle caratteristiche delle varie fasi del suolo. L'utilizzazione di macchine agricole potenti ha un effetto compattante superiore alle forze naturali quali l'impatto della pioggia, il rigonfiamento ed il crepacciamento.

L'indice di rischio di compattazione dei suoli agrari proposto in questo lavoro è leggermente modificato rispetto alla formulazione originale proposta

da APAT (2004) e si avvale dei dati relativi all'ammontare dei macchinari agricoli disaggregati per potenza delle trattrici (MW) grazie alla formulazione di una sommatoria peso ( $\Sigma p$ ):

$$\Sigma p = k W * P * N * 5 / S$$

dove:

kW = Potenza espressa in kilowatt (introducendo una potenza media di 50 kW per le trattrici e di 10 kW per gli altri macchinari);

P = Peso medio delle trattrici (1,02 q/kW);

N = Ammontare complessivo delle trattrici nell'ambito geografico scelto;

5 = Costante che rappresenta il numero medio di passaggi per anno;

S = Superficie dei seminativi e delle coltivazioni legnose (ha).

#### 5.4.4.5 – Aree protette

L'indicatore di risposta relativo alle politiche di protezione dell'ambiente classifica le aree in base al grado con cui tali politiche vengono applicate negli ambiti oggetto di studio. A tale scopo, sono stati raccolti i dati cartografici relativi alle aree del territorio nazionale sottoposte a varie forme di protezione, quali Parchi Nazionali, Parchi e Riserve regionali. Si tratta, in particolare, delle aree protette iscritte nell'elenco ufficiale delle aree protette (EUAP). L'indicatore viene inteso come percentuale di superficie comunale sottoposta a vincolo di protezione ambientale sulla superficie totale.

#### 5.4.4.6 – Misure agro-ambientali

L'effetto di mitigazione delle politiche agro-ambientali in seno alla Politica Agricola Comune (PAC) sulle condizioni di degrado delle terre è stato analizzato sulla base degli interventi e delle misure che maggiormente possono intervenire nei diversi sistemi di degrado individuati in questa ricerca. In termini di agricoltura eco-compatibile, la politica europea ha raccolto le misure agro-ambientali nel regolamento 2078/92, successivamente sostituito dal regolamento 1257/99. Tali regolamenti, in generale, hanno l'obiettivo di favorire interventi sul territorio volti all'incentivazione delle produzioni a basso impatto ambientale nonché alla conservazione delle risorse naturali nelle aree rurali. L'attività di ricerca ha previsto l'analisi dell'articolazione delle misure, sottomisure ed interventi al fine di individuare le differenti attività più direttamente legate a possibili effetti di mitigazione del degrado delle terre. L'indicatore proposto considera per ciascun comune italiano la superficie liquidata per le varie misure di interesse (confrontata con la superficie totale comunale) a partire dal numero di aziende beneficiarie.

## 5.5 INQUINAMENTO E DETERIORAMENTO FISICO

In questo lavoro sono stati considerati alcuni indicatori che quantificano il carico delle attività antropiche sull'ambiente, fra cui il grado di urbanizzazione, i processi di insediamento umano e la pressione demografica. Per valutare i processi di degrado delle terre nella loro portata complessiva, sono stati presi in esame anche alcuni indicatori relativi a fenomeni di inquinamento di origine antropica con risvolti diretti sulla qualità dei suoli (Tab. 5.14). Le cause di tali fenomeni possono essere di varia origine ma, in particolare, esse fanno riferimento alla popolazione residente, alle acque residuali urbane contaminate da sostanze di natura organica-biologica, agli agenti chimici di uso quotidiano nelle pratiche domestiche, alle pratiche agricole o di allevamento, ai fertilizzanti sintetici utilizzati in dosi eccessive, ai concimi o agli scarichi di origine zootecnica, ai fitofarmaci distribuiti massicciamente sulle colture e sui suoli, agli scarti o ai sottoprodotti dei cicli produttivi delle attività industriali. In questo paragrafo affronteremo prima il fenomeno della contaminazione da fonti diffuse e successivamente quello da fonti puntuali.

Tabella 5.14 – Indicatori elementari applicati allo studio dei fenomeni di degrado delle terre per inquinamento, unità di misura e periodo temporale di riferimento

Indicatore	Unità di misura	1990	2000
<i>Densità delle attività estrattive</i>	<i>Addetti/kmq</i>	X	X
<i>Carico organico totale</i>	<i>Abitanti equivalenti</i>	X	X

### 5.5.1 – *Carico organico totale*

Il carico antropico può fornire indicazioni sul rischio di compromissione del patrimonio naturale e rappresenta, quindi, un indicatore sintetico delle tendenze evolutive delle pressioni sull'ambiente a scala locale. Viene qui fornita una valutazione del carico organico e del carico trofico attraverso l'indice di carico organico complessivo, che opera attraverso una classificazione del territorio in base agli 'abitanti equivalenti'. Per la stima del carico inquinante complessivo di origine antropica a livello comunale è stato impiegato il metodo degli abitanti equivalenti pubblicato dall'IRSA, l'Istituto di Ricerca sulle acque del CNR (attraverso la modellizzazione suggerita da APAT 2003). L'abitante equivalente (AE) è convenzionalmente definito attraverso la quantità di carico inquinante corrispondente a quella prodotta da un individuo nell'arco di 24 ore per un anno; tale carico equivale a circa 60 g di BOD<sub>5</sub> (Domanda Biochimica di Ossigeno a 5 giorni misurata in g di O<sub>2</sub>), pari a quanto mediamente immesso nelle acque di scarico da un abitante residente stabilmente, secondo la definizione data dalla vigente normativa in materia di protezione e depurazione delle

acque dall'inquinamento (D.Lgs. 152/06). La valutazione di questi carichi si basa sul contenuto di materia organica biodegradabile. In via approssimativa, per consentire a scala nazionale e con un dettaglio comunale il calcolo del complessivo carico inquinante attribuibile alle diverse fonti generatrici di inquinamento civili, zootecnica ed industriale in una determinata area, sono state definite delle tabelle di conversione che attribuiscono alle singole tipologie i relativi coefficienti di popolazione equivalente (CPE: Barbiero *et al.* 1998). Per quanto riguarda la fonte di inquinamento civile, l'unità di abitante equivalente corrisponde al singolo abitante residente; per l'attività zootecnica, invece, ogni tipologia di allevamento ha un coefficiente di aggiustamento che va moltiplicato il numero di capi presenti sul territorio in esame. Anche per gli insediamenti industriali sono stati calcolati dei coefficienti di popolazione equivalente in funzione della tipologia produttiva individuata in classi e sottoclassi di attività economica (ISTAT, 1991). Per il calcolo del carico complessivo, il coefficiente è stato moltiplicato per il numero degli addetti estratto dai Censimenti Generali dell'Industria e dei Servizi dell'ISTAT (1991-2001). Si rimanda ad APAT (2003) per la consultazione dei pesi numerici associati alle differenti tipologie di attività industriali e zootecniche.

I coefficienti considerati danno una stima di popolazione equivalente che quantifica il potenziale carico di sostanze inquinanti di tipo organico presenti negli scarichi degli impianti industriali. Per ciascun comune, il carico inquinante totale è restituito tramite la somma degli abitanti residenti e degli abitanti equivalenti zootecnici ed industriali:

$$AE = AR + AZ + AI$$

dove:

AE = abitanti equivalenti;

AR = abitanti residenti;

AZ = equivalenti zootecnici;

AI = equivalenti industriali.

#### 5.5.2 – *Attività estrattive*

L'indicatore prende in considerazione le attività antropiche di estrazione di minerali ad elevato impatto ambientale-paesaggistico. In mancanza di sufficienti informazioni a livello territoriale, è stato utilizzato un indicatore *proxy* che descrive la pressione ambientale legata alle attività estrattive in termini di densità di addetti (delle attività caratterizzate dal settore economico 2 secondo la classificazione ATECO) a livello comunale per i due periodi di riferimento 1991 e 2001.

## 5.6 PRESSIONE DELL'AGRICOLTURA E SISTEMA DEMO-ECONOMICO

Le problematiche ambientali comuni a gran parte dell'agricoltura italiana sono legate, da un lato, alla progressiva concentrazione e specializzazione dei sistemi produttivi e, dall'altro, alla marginalizzazione delle aree meno idonee all'uso agricolo. Il paesaggio rurale alterna, infatti, zone ad elevata intensità produttiva con vasti ambiti al limite dell'abbandono; la possibilità di riequilibrare un sistema scarsamente sostenibile è legata alla capacità di adottare metodi produttivi ecocompatibili nelle aree ad agricoltura intensiva e alla possibilità di rendere economicamente più convenienti le produzioni nelle aree marginali.

Nel determinare la vulnerabilità ai fenomeni di degrado connessi alla componente agricola, è opportuno valutare la rilevanza delle diverse dimensioni ambientali, sociali ed economiche coinvolte. La dimensione ambientale evidenzia i meccanismi di gestione e di conservazione delle risorse naturali in termini di paesaggio. La dimensione sociale fa specifico riferimento al capitale umano ed alle sue caratteristiche. Nella terza dimensione si individuano l'uso efficiente delle risorse e la vitalità del settore agricolo, nonché il contributo del settore primario alla conservazione delle aree rurali. Il degrado del suolo innescato dall'attività agricola si può manifestare attraverso repentino sconvolgimento dell'ambiente fisico o, viceversa, attraverso processi lenti che producono modificazioni indesiderate fino alla perdita della fertilità del suolo. Si verificano così processi evolutivi che culminano con il progressivo decadimento dei caratteri strutturali e funzionali del suolo stesso.

In questo paragrafo si illustrano gli indicatori tematici utilizzati generalmente per rappresentare, a scala geografica sufficientemente dettagliata, i principali fattori di pressione dell'agricoltura sull'ambiente e considerati come predisponenti ai processi di degrado dei suoli riconducibili all'attività agricola. Fra i diversi aspetti legati a questo tema annoveriamo l'assetto territoriale dello spazio rurale (in termini di vocazione agricola del territorio, di paesaggio agrario e di superficie destinata alla produzione), le strategie di gestione aziendale legate anche al contesto socio-demografico del settore primario ed il contributo dell'agricoltura alla formazione del reddito. I suddetti indicatori sono di formulazione empirica, pienamente accessibili a livello statistico, e si adattano ad esigenze di analisi retrospettiva nonché a valutazioni a scala geografica di dettaglio. In questo paragrafo sono stati considerati i fattori di pressione strettamente derivanti dall'attività agricola trascurando quelli ambientali, comunque legati indirettamente all'agricoltura e, per questo, già considerati nei paragrafi precedenti (e.g. erosione dei suoli, siccità, copertura vegetazionale, superficie percorsa dal fuoco, salinizzazione, inquinamento).

Le caratteristiche del paesaggio rurale possono essere correlate a fenomeni di degrado dei suoli, anche se risulta difficile valutarne le connessioni, vista la complessità degli elementi che compongono il paesaggio stesso. È tuttavia

Tabella 5.15 – Indicatori elementari applicati allo studio dei fenomeni di degrado delle terre per pressioni dell'agricoltura, unità di misura e periodo temporale di riferimento

Indicatore	Unità di misura	1990	2000
<i>Indice di intensificazione agricola</i>	%	X	X
<i>Assetto dello spazio rurale</i>	%	X	X
<i>Vocazione Agricola</i>	%	X	X
<i>Indice di boscosità rurale</i>	%	X	X
<i>Perdita di terreno coltivabile</i>	%	X	
<i>Aziende agricole a conduzione familiare</i>	%	X	X
<i>Superfici agricole in affitto</i>	%	X	X
<i>Diversificazione dell'attività lavorativa del conduttore</i>	%	X	X
<i>Indice di Shannon sulle colture agrarie</i>	<i>Punteggio</i>	X	X
<i>Indice di equi-distribuzione delle classi di uso del suolo</i>	<i>Punteggio</i>	X	X
<i>Addetti agricoli con più di 55 anni</i>	%	X	X
<i>Marginalizzazione delle aziende agricole</i>	%	X	X
<i>Indice di redditività della terra</i>	<i>Euro/SAU</i>	X	X
<i>Densità di aziende agrituristiche</i>	<i>Aziende/kmq</i>	X	X
<i>Superfici agricole effettivamente irrigate</i>	%	X	X
<i>Superfici agricole irrigabili</i>	%	X	X

possibile descrivere i principali fattori di pressione che causano modifiche nella forma e nella struttura del paesaggio, con particolare riferimento alla vocazione agricola, all'intensità produttiva, alla perdita di suolo nonché alla frammentazione aziendale, tramite variabili quantitative che combinano le informazioni censuarie legate alla classificazione delle superfici agricole (Salvati et al. 2005).

In particolare, si vuole porre l'attenzione sui fenomeni dell'intensificazione – intesa come modalità di gestione agricola caratterizzata da un elevato impiego di input per unità di superficie e dall'utilizzo di tecniche di coltivazione che possono generare effetti ambientali negativi – e della concentrazione, intesa come diminuzione della numerosità delle aziende, soprattutto di quelle medio-piccole, che hanno una forte incidenza sui diversi assetti della struttura agricola (e.g. ISTAT 2003).

In questo ambito, una delle variabili di maggiore interesse è la superficie agricola utilizzata (SAU) che evidenzia il fattore dimensionale dell'agricoltura, come principale utilizzatrice del territorio, individuando i fenomeni di parcelizzazione dello spazio rurale ed anche i possibili effetti dimensionali nella qualità della gestione del paesaggio a carico delle piccole e delle grandi aziende (e.g. Trisorio 2005). Attraverso questa variabile è possibile costruire differenti indicatori di qualità dell'assetto rurale in grado di fornire utili indicazioni sul livello di pressione dell'agricoltura sull'ambiente (e.g. OECD 2004).

Da un punto di vista demografico, fra i fattori di degrado del territorio rurale si annovera principalmente lo spopolamento degli spazi agricoli marginali, con il conseguente invecchiamento della forza lavoro impiegata nel settore primario. Questo fenomeno ha coinciso con lo spostamento di parte della popolazione rurale (soprattutto delle nuove generazioni) verso le aree pianeggianti che, a loro volta, hanno subito processi di intensificazione urbanistica, turistica e agricola. Nelle aree rurali, soggette al processo di spopolamento e dove l'agricoltura assume spesso i tratti dell'autoconsumo, si manifestano significativi fenomeni ambientali connessi all'abbandono delle terre, quali l'aumento del rischio di erosione, frane, smottamenti e incendi, in relazione al venir meno del 'presidio' che l'agricoltura svolge nei confronti dello spazio rurale. All'opposto, l'elevato grado di antropizzazione e la forte pressione dovuta alla densità di popolazione, accrescono i fenomeni di perdita dei suoli agricoli e di consumo della risorsa idrica a causa della crescente domanda abitativa aumentando così la vulnerabilità ai fenomeni di degrado delle terre<sup>7</sup>.

I fattori demografici influenzano anche le caratteristiche strutturali delle aziende agricole. Un grande peso va attribuito alla composizione della famiglia del conduttore e della forza lavoro. Le aziende che presentano un maggior ricambio generazionale e componenti della forza lavoro relativamente più giovani, assicurano una maggiore continuità nell'attività aziendale, presupposto essenziale anche per la duratura adozione di pratiche a minor impatto ambientale. Lo spopolamento rurale e la dimensione 'sociale' del settore agricolo sono stati descritti dall'incidenza del settore primario sulle forze di lavoro e dall'indice di invecchiamento che può anche considerarsi un indicatore *proxy* dei processi di insediamento dei giovani agricoltori e della discendenza nelle aziende (Barberis & Battaglini 1998). Sono state infine considerate alcune variabili di contesto relative alla rilevanza economica delle produzioni agricole nonché alla redditività della terra.

#### 5.6.1 – *Intensificazione agricola*

L'intensificazione agricola è un fattore di pressione considerato in vari lavori sulla vulnerabilità alla desertificazione (e.g. Motroni et al. 2004) e che definisce l'intensità di sfruttamento del suolo agrario in dipendenza dell'estensione di forme di agricoltura ad elevata pressione ambientale (ANPA 2001). Queste sono intese come superfici soggette a tecniche di coltivazione mirate a massimizzare e stabilizzare la produttività (ad esempio, lavorazioni profonde e massiccio uso di fertilizzanti) che hanno effetti sulle proprietà chimiche, fisiche e biologiche del suolo. Attraverso una rielaborazione dei criteri proposti in APAT

<sup>7</sup> Lo spopolamento rurale ed il concomitante processo di intensificazione urbana delle aree costiere e/o pianeggianti sono stati descritti nel paragrafo 5.2 inerente il sistema di degrado delle terre per urbanizzazione/sigillamento del suolo.

(2001) e Motroni *et al.* (2004), le superfici a seminativi e a coltivazioni legnose sono state classificate come ad elevato sfruttamento. L'indicatore è stato costruito come rapporto fra le superfici considerate e la SAU totale.

#### 5.6.2 – *Assetto dello spazio rurale*

Il rapporto fra SAU e superficie agricola totale (SAT) mostra, a livello comunale, la quota di territorio rurale effettivamente destinata ad attività produttive. Una variazione di questo rapporto può evidenziare diversi aspetti dell'evoluzione economica, gestionale e strutturale delle aziende agricole. La sua variazione nel tempo è indice dell'impatto che le coltivazioni esercitano sullo spazio rurale in considerazione del cambiamento di assetto produttivo subito dalle aziende stesse (ANPA 2001).

#### 5.6.3 – *Vocazione agricola del territorio*

Il rapporto fra SAT e superficie totale comunale (SST) fornisce una ulteriore indicazione sulla quota di territorio destinata ad attività agricole, esplicitando la vocazione agricola del territorio (e.g. Trisorio 2005). Una diminuzione o un aumento di tale rapporto può evidenziare diversi aspetti dell'evoluzione economica, gestionale o strutturale del territorio e delle aziende agricole. Analizzando la sua evoluzione nel tempo si può dedurre l'impatto che l'agricoltura esercita sull'ambiente soprattutto in termini di uso del suolo (svincolato da fattori dimensionali e strutturali delle aziende agricole), di estensivizzazione dell'agricoltura o di abbandono di aree marginali, tutti fenomeni ulteriormente correlabili a possibili pressioni esercitate sui suoli.

#### 5.6.4 – *Indice di boscosità rurale*

I boschi svolgono un ruolo significativo nella conservazione della biodiversità, nella protezione idro-geologica e nella mitigazione dei fenomeni di degrado del suolo. Questo ruolo assume una rilevanza ancora più grande negli agro-ecosistemi, dove l'intensificazione agricola incide spesso negativamente sul paesaggio. Le formazioni forestali relitte e altamente frammentate rappresentano, comunque, un elemento fondamentale della struttura del paesaggio agrario e mantengono un valore economico, soprattutto per lo svolgimento di attività turistiche, ricreative e residenziali. L'indice di boscosità rurale, calcolato come rapporto fra la superficie boscata rilevata in ciascuna azienda agricola e la superficie agricola utilizzata, viene aggregato a livello comunale. Con questo indicatore, specificamente rivolto alle aree agricole, intendiamo delineare un ulteriore aspetto della qualità del paesaggio rurale, attraverso una stima indiretta della biodiversità che l'agro-ecosistema esprime<sup>8</sup>.

<sup>8</sup> A livello più generale, il ruolo delle formazioni forestali nella mitigazione dei fenomeni di degrado dei suoli e della desertificazione viene valutato nell'ambito del sistema di degrado



### 5.6.5 – Perdita di terreno coltivabile

La riduzione delle superfici agricole segnala un fenomeno molto complesso, di notevole rilevanza territoriale, con risvolti socio-economici e ambientali molto forti. Negli ultimi 40 anni, centinaia di migliaia di ettari sono stati attraversati da fenomeni di evoluzione: superfici agricole convertite ad altre forme d'uso, oppure abbandonate e divenute prima improduttive e successivamente invase dalla vegetazione spontanea, quindi devastate da incendi, interessate da trasformazioni fondiarie oppure recuperate all'agricoltura.

Questa forma di mancata gestione dei terreni, con carattere di transitorietà, ha seguito e segue diversi percorsi, che da un punto di vista ambientale può avere segni opposti. L'abbandono, infatti, può essere seguito da processi di ricolonizzazione da parte della vegetazione arborea, arbustiva o erbacea (rivegetazione); oppure da processi di degrado dei suoli, legati alla perdita di sostanza organica o ai processi di erosione (devegetazione e desertificazione).

Una puntuale quantificazione del fenomeno e un monitoraggio nel tempo, consentirebbe di poter determinare il ruolo dei suoli agricoli in rivegetazione nelle strategie nazionali di difesa del suolo, tenendo conto delle “buone pratiche di gestione” dei suoli agricoli, quali l'inerbimento, il sovescio, l'agricoltura biologica e le tecniche di minima lavorazione. Un indicatore implementabile a partire dalla SAU è, pertanto, la variazione della superficie agricola rilevata in un opportuno arco temporale (in questo studio è stato utilizzato il periodo intercensuario 1990-2000). Questo indicatore, quantificando la variazione della base produttiva, mette in evidenza l'abbandono dei suoli dovuti a dinamiche di spopolamento nelle aree marginali (soprattutto montane) e la perdita dei suoli dovuti all'urbanizzazione (soprattutto nelle aree pianeggianti).

### 5.6.6 – Strategie aziendali

Il contesto delle strategie aziendali è riconducibile principalmente alle caratteristiche della conduzione agricola. La tipologia di conduzione può rappresentare, infatti, un indice dell'atteggiamento degli operatori agricoli rispetto all'uso produttivo del territorio. La percentuale di SAU condotta con manodopera familiare (esclusiva o prevalente) può essere intesa come *proxy* di atteggiamenti orientati ad un modello di conduzione meno impattante sull'ambiente. Anche il titolo di proprietà dei terreni può essere ricondotto a forme più o meno intensive di sfruttamento: la percentuale di SAU in affitto individua gli ambiti territoriali dove la tradizionale conduzione in proprietà, intesa come garanzia alla conservazione del fondo, potrebbe lasciare il posto allo sfruttamento intensivo del potenziale produttivo. D'altronde, lo spopolamento

delle terre per erosione (paragrafo 5.4), dove sono stati implementati diversi indicatori sulla qualità della vegetazione, sulla protezione dai fenomeni erosivi, dal rischio di incendio e di siccità, sull'intensità di uso del suolo.

delle aree marginali, meno idonee in termini agronomici, è conseguenza anche dello sviluppo tecnologico concentrato su produzioni standardizzate che prediligono ordinamenti specializzati e metodi di produzione a basso impiego di lavoro (Trisorio 2005).

#### 5.6.7 – *Forma di conduzione delle aziende agricole*

La conduzione aziendale è un aspetto che attiene fundamentalmente alla sfera economica delle strategie aziendali, anche se può avere ripercussioni indirette sulla dimensione agro-ambientale. A livello generale, si può supporre che una conduzione diretta, e con manodopera familiare, possa assicurare una maggiore sostenibilità ambientale dell'agricoltura, in quanto il proprietario, motivato a non pregiudicare il livello di fertilità dei suoli, è indotto a ricorrere a coltivazioni meno intensive e a basso impatto. In realtà, le relazioni fra strategie aziendali, pratiche agricole ed impatti ambientali, sono abbastanza complesse come già testimoniato in recenti lavori (ISTAT 1998). Pertanto, l'uso di indicatori *proxy*, quale la quantificazione delle aziende a conduzione diretta con manodopera familiare, può fornire un'indicazione di contesto su cui sviluppare eventuali scenari di *policy* per la mitigazione del degrado delle terre. In questo lavoro abbiamo calcolato a livello comunale il rapporto fra superficie delle aziende con manodopera familiare esclusiva o prevalente e la SAU totale.

#### 5.6.8 – *Affittanza*

In linea generale, un suolo agricolo in affitto potrebbe essere soggetto ad una forma di conduzione meno sostenibile dal punto di vista ambientale in quanto più orientato ad un tipo di conduzione intensiva teso, in ogni caso, a massimizzare l'immediato profitto economico (della singola annata agraria) con massicci interventi di meccanizzazione e/o di irrigazione. In tale ottica, è stata considerata l'incidenza delle superfici agricole in affitto sulla SAU totale come indicatore *proxy* di forme di conduzione potenzialmente meno sostenibili dal punto di vista agro-ambientale.

#### 5.6.9 – *Diversificazione dell'attività lavorativa del conduttore*

La percentuale delle aziende agricole nelle quali il conduttore non svolge l'attività agricola in forma esclusiva, fornisce una misura del grado di diversificazione economica: più alta è la percentuale di aziende con conduttori che diversificano la propria attività lavorativa, maggiore potrebbe essere la loro vitalità economica. La diversificazione, intesa come strategia di medio termine per la gestione del rischio, potrebbe ridurre l'efficienza economica aziendale, incentivando tuttavia comportamenti a minore impatto per l'agro-ecosistema. Come indicatore di questo fenomeno abbiamo quantificato a livello comunale la percentuale delle aziende con conduttori che lavorano esclusivamente presso l'azienda rispetto al totale delle aziende agricole.

### 5.6.10 – *Diversificazione delle colture*

Il grado di complessità dello spazio rurale, frutto anche di scelte strategiche aziendali, è stato valutato tramite una misura della presenza di differenti ecosistemi agrari. In tal senso, una maggiore diversificazione colturale è stata intesa come una maggiore capacità di resilienza dell'agro-ecosistema ad eventuali *shock* ambientali. L'indice di diversità colturale sintetizza la complessità nella distribuzione, rispettivamente, di 9 classi colturali e di uso del suolo (frumento, altri cereali, ortive, foraggere, vite, olivo, fruttiferi, agrumi, boschi) e viene espresso tramite l'usuale formula dell'entropia (Shannon & Weaver 1949):

$$\text{diversità} = (H) = - \sum_{i=1}^n p_i \ln p_i$$

dove  $p_i$  rappresenta la frequenza relativa della  $i$ -esima classe colturale rispetto alla superficie agricola totale aggregata a livello comunale.

Tale indice ( $H$ ) può essere ulteriormente trasformato normalizzandolo al numero delle classi di uso del suolo utilizzate. A tal fine si utilizza il concetto di equiripartizione ( $J$ ) che rappresenta il rapporto fra il livello di diversità osservato e quello massimo generabile a partire da una equi-distribuzione delle classi di uso del suolo. L'indice  $J$  si calcola pertanto come rapporto fra  $H$  e  $H_{\max}$ , dove  $H_{\max} = \log S$ , dove  $S$  rappresenta il numero delle classi di uso del suolo (in questa elaborazione pari a 9).

### 5.6.11 – *Invecchiamento della forza lavoro agricola*

I capi azienda sono i principali protagonisti del sistema agricolo, sia nelle scelte produttive, sia nella determinazione dell'assetto fondiario. I conduttori più giovani manifestano uno spiccato dinamismo imprenditoriale che incide positivamente sul reddito aziendale, grazie alla tendenza verso l'aumento della SAU, al contrario di quanto accade per i conduttori anziani. La struttura per età dei conduttori agricoli influenza quindi i processi produttivi, di marginalizzazione e frammentazione aziendale. Più in generale, nell'ultimo trentennio si è registrato un rapido processo di involuzione sia del numero dei lavoratori agricoli che della loro struttura per età (Salvati 2004). Il numero degli addetti al settore primario si è ridotto in tutto il territorio nazionale e la loro struttura per età ha manifestato una tendenza netta all'insenilimento, con uno spiccato aumento degli ultrasessantacinquenni. Considerando che i giovani agricoltori rappresentano un elemento cardine della vitalità delle aree rurali, l'incidenza dei fenomeni di invecchiamento sulla popolazione rurale è stata quantificata tramite il rapporto fra lavoratori agricoli con più di 55 anni, calcolato a livello comunale, rispetto al totale degli addetti agricoli.

#### 5.6.12 – *Marginalizzazione delle aziende agricole*

Il fattore dimensionale, rappresentato dalla SAU media aziendale, può essere utilmente messo in relazione con i fenomeni di marginalizzazione, ovvero con la crescente incapacità di un'azienda a produrre un reddito accettabile a causa del deterioramento dell'ambiente economico e/o fisico. Una diretta conseguenza è l'incremento del rischio di cessazione dell'attività agricola che, a sua volta, implica una riduzione del presidio sul territorio, una possibile perdita di biodiversità e scarsa tutela del paesaggio (si pensi, ad esempio, alle caratteristiche precipue di alcuni paesaggi agrari italiani), producendo effetti sociali ed ambientali complessivamente negativi. Un indicatore di marginalizzazione può essere rappresentato dalla percentuale di aziende di ridotte dimensioni (SAU < 2 ha) sul totale delle aziende agricole rilevate a livello comunale, considerando la loro superficie: nel computo dei valori percentuali si tiene conto, a livello comunale, della superficie effettivamente utilizzata a fini agrari (SAU).

#### 5.6.13 – *Redditività della terra*

Questo indicatore misura la redditività del settore agricolo, ovvero la capacità di remunerare i fattori impiegati, in questo caso la terra. Il grado di competitività del settore e l'utilizzo economicamente congruo dei fattori produttivi influenzano il livello di redditività, che può essere così mantenuto anche nel lungo periodo. In questo lavoro, la redditività della terra viene considerata come indicatore *proxy* di impatto. Nel contesto agro-ambientale, un deterioramento eccessivo della qualità dei suoli e delle caratteristiche del paesaggio agrario potrebbe incidere negativamente, anche se in forma indiretta, sulla resa di alcune colture. Il nostro intento è quindi proporre una misurazione della redditività del fattore terra, eventualmente correlabile ai fenomeni di degrado.

Questo indicatore viene calcolato come rapporto fra valore aggiunto del settore primario e superficie agricola utilizzata. Tale misura può essere ottenuta annualmente a livello territoriale aggregato (e.g. regionale), e può essere approfondita a livello territoriale più spinto (e.g. sub-provinciale) in base ai metodi di disaggregazione proposti per le informazioni di Contabilità Nazionale nonché ai dati censuari, disponibili con aggiornamento decennale.

#### 5.6.14 – *Irrigazione*

Come anticipato nel paragrafo 5.1 dal punto di vista agro-ambientale, una possibile risposta all'uso non sostenibile della risorsa idrica a fini irrigui può essere rappresentata dalle fonti e dai sistemi di irrigazione e dalla diversificazione di entrambi. La *tipologia delle fonti di approvvigionamento idrico* rappresenta, pertanto, un'importante caratteristica conoscitiva della pratica irrigua. Nel sud Italia, si stima che più del 50% dei prelievi sia rappresentato da captazioni da falda profonda (soprattutto tramite pozzi, prevalentemente dislocati in Puglia), mentre le captazioni da falda superficiale sono rappresentate da meno del 10%

dei prelievi, concentrati soprattutto in Campania e Basilicata (Trisorio 2005). I prelievi da falda provocano la maggiore pressione ambientale in quanto, se lo sfruttamento dei corpi idrici è superiore ai tempi di ricarica, si può verificare l'abbassamento dei livelli di falda e, nelle vicinanze del mare, l'intrusione salina con scadimento qualitativo delle acque. La situazione, peraltro, potrebbe essere più preoccupante di quanto descritto dai dati ufficiali, in quanto esistono strutture di approvvigionamento private che sfuggono alla pianificazione e al controllo e che spesso sono legate a fenomeni di prelievo abusivo (INEA 2001).

La valutazione sulla *diversificazione delle fonti idriche* è stata condotta attraverso una stima delle diverse fonti utilizzate dalle aziende irrigue (captazione da falda sotterranea e da fonte superficiale, captazione da sorgente, da fiume, canale o lago) in termini percentuali. In particolare è stata calcolata la percentuale delle aziende irrigue che attuano prelievi da falda sotterranea sul totale delle aziende agricole

Per quanto riguarda *le tipologie dei sistemi di irrigazione*, in linea generale possono distinguersi due categorie: quelli a maggiore consumo idrico (sommersione, scorrimento superficiale e infiltrazione laterale), e quelli a minore intensità di impiego di acqua (aspersione e localizzata sottochioma). I sistemi appartenenti alla prima categoria generano una pressione ambientale superiore agli altri, in quanto comportano, oltre ad un consumo maggiore di acqua, anche la dispersione di sostanze organiche e minerali inquinanti la falda, nonché possibili fenomeni di ruscellamento con conseguente erosione idrica (Trisorio 2005). Si noti che negli ultimi venti anni l'evoluzione della pratica irrigua conferma una generale riduzione delle aziende che praticano lo scorrimento e la sommersione ed un aumento di quelle che adottano l'aspersione e l'irrigazione localizzata sottochioma. Sistemi che, come detto, sono più efficienti ed hanno minore impatto ambientale. Abbiamo, pertanto, considerato come indicatore di pressione ambientale la proporzione di aziende che praticano sistemi di irrigazione definiti a maggiore intensità di prelievo idrico (sommersione, scorrimento superficiale ed infiltrazione laterale), sul totale delle aziende agricole.

La quantificazione della *diversificazione* sia nelle *fonti* che nei *sistemi irrigui* è stata realizzata ricorrendo ad un indice di entropia, espresso dalla formula (Shannon & Weaver 1949):

$$diversità = - \sum_{i=1}^n p_i \ln p_i$$

dove  $p_i$  rappresenta la frequenza relativa delle aziende agricole che presentano il carattere  $i$ -esimo relativamente all'uso delle fonti oppure dei sistemi irrigui considerati. I dati elementari sono stati forniti, a livello comunale, dai censimenti generali dell'agricoltura. Gli indicatori calcolati consentono di valutare

congiuntamente la diversificazione nelle fonti idriche e la diffusione sul territorio dei differenti metodi di irrigazione. Può risultare, infine, che le reti di irrigazione siano inefficienti o insufficientemente curate, che gli agricoltori mostrino un comportamento 'parassitario' nei confronti della risorsa idrica, che le tecniche irrigue siano irrazionali con spreco d'acqua, che vi siano stanziamenti superflui per finanziare grossi impianti idrici di superficie, con dighe e reti di irrigazione su vasta scala, con il risultato di ripercussioni ambientali anche rilevanti. L'assenza di una spinta verso la tutela dell'acqua può portare a problemi di saturazione, salinizzazione e carenze idriche; gli investimenti nell'irrigazione e nelle infrastrutture possono generare ingenti costi esterni, sotto forma di trasferimenti di comunità locali, perdita di terreni di interesse agrario e forestale, nonché un peggioramento dell'idrologia fluviale. Il tema dell'irrigazione appare, pertanto, estremamente complesso: nel nostro studio non si esaurisce nella sola dimensione climatica ma viene affrontato, ad esempio, anche nel sistema di degrado dei suoli per salinizzazione (§ 5.3).

#### 5.6.15 – *Possibili risposte*

A livello comunitario è stata emanata, negli anni, una serie di regolamenti volti all'incentivazione economica di quelle aziende che si sottoponevano volontariamente all'osservanza di pratiche agronomiche rispettose dell'ambiente. Con l'introduzione delle misure agroambientali di accompagnamento alla riforma della Politica Agricola Comunitaria (PAC) del 1992 (reg. CEE 2078/92 e 2092/91), il pagamento diretto di compensazioni per il miglioramento tecnologico in chiave ecocompatibile è divenuto uno dei temi di discussione più importanti per l'agricoltura europea. Il regolamento 2078/92 è relativo a metodi di produzione agricola compatibili con le esigenze di protezione dell'ambiente e con la cura dello spazio naturale; il 2092/91 è relativo al metodo di produzione biologica di prodotti agricoli e alla indicazione di tale metodo sui prodotti agricoli e sulle derrate alimentari. La gestione e l'applicazione di questi regolamenti è stata affidata alle amministrazioni regionali che hanno predisposto programmi pluriennali con obiettivi generali e specifici. L'adesione ai regolamenti è di tipo volontario e le aziende aderenti si impegnano all'applicazione e registrazione di una serie di pratiche agronomiche consentite. Pratiche siffatte hanno avuto localmente un buon successo come accaduto, ad esempio, in Emilia Romagna, dove sono praticate colture ad alto reddito e di discreto livello qualitativo. Tali pratiche consentono anche un ritorno economico d'immagine legato ad una agricoltura sostenibile che valorizza, fra l'altro, le vocazioni tradizionali locali (ad esempio tramite i marchi di qualità).

L'analisi dell'impatto che ciascuna attività produttiva riveste sull'ambiente può procedere attraverso l'individuazione di itinerari produttivi a differente compatibilità ambientale. Tali percorsi, alternativi a quello convenzionale, si pongono l'obiettivo di ridurre la pressione dell'agricoltura sull'ambiente, con

particolare riferimento all'uso di fertilizzanti e fitofarmaci, ponendo per essi limiti nella qualità e nella quantità dei prodotti di sintesi impiegati. In particolare, abbiamo considerato la tecnica biologica come innovazione capace di ridurre la pericolosità ambientale dei processi produttivi, pur conservando una propria validità economica. Fra le proprietà che l'agricoltura biologica può enumerare, va ricordato che i terreni coltivati con tale tecnica vantano un maggior grado di copertura vegetale e tendono ad essere più ricchi di sostanza organica, non vengono sfruttati in modo intensivo e presentano bassa predisposizione all'impoverimento dei suoli.

Il confronto fra agricoltura convenzionale e biologica dimostra, inoltre, che quest'ultima consuma – per unità di prodotto – meno energia derivata da fonti fossili rispetto a quella convenzionale e che le performance delle aziende biologiche potrebbero essere migliorate fino ad una riduzione dei combustibili fossili per un altro 40-60%, tramite l'utilizzo più diffuso dell'energia solare, eolica e da biomasse. Il contributo del biologico nel settore dell'allevamento si esplica nella riduzione di emissioni di metano, sia per il tipo di dieta che per il numero ridotto di capi allevati per ettaro, e nell'eliminazione dei concimi chimici di sintesi, la produzione dei quali richiede grandi quantità di energia, nonché nella riduzione della combustione di fonti fossili e delle relative emissioni di anidride carbonica per l'alimentazione del parco macchine, limitate dall'attuazione di lavorazioni leggere (e.g. Povellato 1996).

La crescita dell'agricoltura biologica è stata continua negli ultimi anni: si pensi che dal 1991 al 2001 la superficie coltivata a biologico sulla SAU totale è aumentata di quasi un punto percentuale ad anno, attestandosi a circa il 10% della superficie utilizzata. L'Italia è il paese con il maggior numero d'aziende biologiche e la maggiore superficie destinata all'agricoltura biologica in Europa. Ciò è potuto avvenire grazie ad una serie di fattori, quali favorevoli condizioni climatiche, agronomiche e di mercato, nonché incentivi economici comunitari messi a disposizione delle imprese agricole per il passaggio alla gestione biologica, inizialmente per i soli prodotti vegetali e successivamente anche zootecnici.

Vanno considerate, inoltre, come possibili misure indirette di mitigazione del degrado delle terre quelle a favore dell'insediamento e permanenza dei giovani agricoltori. Essi rappresentano un elemento cardine nello sviluppo sostenibile delle aree rurali. Rispetto ai più anziani, in genere, manifestano una maggiore propensione all'introduzione di innovazioni tecnologiche ed una maggiore rapidità nell'adeguamento ad eventuali cambiamenti normativi, economici ed ambientali. La presenza di giovani contribuisce inoltre al presidio del territorio e alla tutela dello spazio rurale. A livello normativo, esiste un quadro legislativo di riferimento che mira ad incentivare il ricambio generazionale dei conduttori anziani a favore dei giovani imprenditori (Reg. CE 1783/2003; Reg. CE 1257/1999).

Infine, come ulteriore elemento (indiretto) di risposta, si consideri il feno-

meno dell'agriturismo. A partire dal 1985 – anno dell'emanazione della legge quadro nazionale 730, infatti, tale fenomeno ha acquisito rilevanza sempre maggiore sia all'interno del settore agricolo che di quello turistico. Lo sviluppo dell'agriturismo rappresenta un'opportunità di diversificazione dell'offerta turistica e di integrazione (talvolta di carattere dominante) del reddito nelle aree rurali. Le aziende agrituristiche sono raddoppiate in quindici anni passando da circa 5.000 unità nel 1985 a più di 10.000 nel 2001, triplicando il volume di affari (Agra Editore 2003). L'agriturismo resta però un fenomeno con una eccezionale e crescente concentrazione solo in alcuni distretti rurali ad elevata vocazione agro-ambientale, quali la provincia di Bolzano e la regione Toscana (Ambiente Italia 2003). Il tasso di diffusione delle aziende agrituristiche (inteso come numero di esercizi calcolati a livello comunale rispetto alla superficie territoriale) è stato considerato come una variabile di risposta, intesa come *proxy* di una vocazione del territorio improntata a forme di turismo eco-compatibile e a maggiore sensibilità per le problematiche ambientali, sia da parte dei visitatori che dei conduttori d'azienda (Salvati *et al.* 2005).



## CAPITOLO 6

### VULNERABILITÀ AL DEGRADO DELLE TERRE E ALLA DESERTIFICAZIONE IN ITALIA

*Dissoluta negligentia prope dolum est  
(Una sregolata negligenza è quasi dolo)*

ANONIMO

I fattori di pressione ambientale, come già illustrato nel capitolo 3, sono stati classificati in sei tematiche che corrispondono ad altrettanti possibili processi di degradazione dei suoli: cambiamenti climatici, fenomeni di urbanizzazione-sigillamento, salinizzazione, erosione, inquinamento (contaminazione da fonti diffuse e puntuali) e agricoltura. Il modello interpretativo adottato risponde ad una rappresentazione dei suddetti fenomeni basata su un insieme di indicatori elementari ampiamente condiviso in questo tipo di indagini, sia per valutazioni a scala regionale, sia nazionale (e.g. APAT 2001) e anche in contesti sovranazionali (e.g. OECD 2004). In questo capitolo, utilizzando strumenti di analisi statistica descrittiva e seguendo lo stesso approccio concettuale delle elaborazioni effettuate, vengono presentate alcune risultanze con l'intento di esprimere, in forma sintetica e quanto possibile esaustiva, le principali tendenze ambientali relative ai vari sistemi di degrado delle terre. Gli indicatori vengono passati in rassegna, ove consentito dalla disponibilità dei dati in forma elementare, sulla base della loro distribuzione spaziale sul territorio nazionale (sintetizzata a livello regionale e per fascia altimetrica) e del confronto fra i due periodi temporali di riferimento.

#### 6.1 CLIMA

##### 6.1.1 – *Regimi pluviometrici*

Il regime pluviometrico italiano e le variazioni a suo carico, sono stati analizzati sotto l'aspetto geografico e temporale evincendo una ragguardevole eterogeneità sottesa alle molteplici realtà territoriali del Paese. L'elemento, tuttavia, che accomuna quasi tutte le regioni italiane è la sensibile riduzione, in termini assoluti e relativi, degli apporti meteorici nel periodo 1971-2000 rispetto al 1961-1990 (Tabella 6.1). Le differenze sono significativamente più evidenti nel nord-est del Paese (Veneto e Friuli Venezia Giulia), in alcune regioni del centro (Emilia Romagna, Toscana, Umbria e Lazio) e del meridione (Molise e Campania) e in Sardegna. In controtendenza si evidenzia la situazione della Sicilia e, in parte, del Piemonte. Nel complesso, si conferma un andamento climatico

Tab. 6.1 – Precipitazioni totali annue suddivise per regioni e fasce altimetriche

Regione	Periodo 1961-1990				Periodo 1971-2000				Differenza "1990"/"2000"				Differenza "1990"/"2000"			
	valori regionali (mm)		montagna		valori regionali (mm)		montagna		valori regionali (mm)		montagna		valori regionali (%)		montagna	
	pianura	collina	pianura	montagna	pianura	collina	pianura	montagna	pianura	collina	pianura	collina	pianura	collina	pianura	montagna
Piemonte	907	812	1,006	910	931	839	910	24	27	24	27	96	3	3	-10	
Valle d'Aosta	-	-	912	-	-	-	-	-	-	-	-	-26	-	-	-3	
Lombardia	873	1,153	870	1,007	870	1,095	1,007	-3	-58	-3	-58	-114	-	-	-10	
Trentino Alto-Adige	-	-	891	856	-	-	856	-	-	-	-	-35	-	-	-4	
Veneto	880	1,085	1,103	981	860	962	981	-20	-123	-20	-123	-122	-2	-11	-11	
Friuli Venezia Giulia	1,181	1,241	1,440	1,176	1,083	1,083	1,176	-98	-158	-98	-158	-26	-8	-13	-18	
Liguria	990	936	879	836	949	880	836	-41	-56	-41	-56	-43	-4	-6	-5	
Emilia Romagna	734	876	1,127	976	735	827	976	1	-49	1	-49	-151	0	-6	-13	
Toscana	856	941	1,199	945	821	859	945	-35	-2	-35	-2	-254	-4	-9	-21	
Umbria	-	841	909	818	-	794	818	-	-47	-	-47	-91	-	-6	-10	
Marche	778	902	901	824	760	849	824	-18	-53	-18	-53	-77	-2	-6	-9	
Lazio	873	962	972	888	826	896	888	-47	-66	-47	-66	-84	-5	-7	-9	
Abruzzo	712	760	816	756	638	762	756	-29	-34	-29	-34	-60	-4	-4	-7	
Molise	577	807	945	807	553	721	807	-24	-86	-24	-86	-138	-4	-11	-15	
Campania	961	983	845	767	876	883	767	-85	-100	-85	-100	-78	-9	-10	-9	
Puglia	603	642	-	-	582	608	-	-21	-34	-21	-34	-	-3	-5	-	
Basilicata	625	664	800	746	613	645	746	-12	-19	-12	-19	-54	-2	-3	-7	
Calabria	822	881	831	768	786	816	768	-36	-65	-36	-65	-63	-4	-7	-8	
Sicilia	557	582	645	590	567	577	590	10	-5	10	-5	-55	2	-1	-9	
Sardegna	553	572	626	530	508	510	530	-45	-62	-45	-62	-96	-8	-11	-15	
<b>Italia</b>	<b>793</b>	<b>868</b>	<b>945</b>	<b>856</b>	<b>764</b>	<b>809</b>	<b>856</b>	<b>-29</b>	<b>-54</b>	<b>-29</b>	<b>-54</b>	<b>-100</b>	<b>-4</b>	<b>-7</b>	<b>-11</b>	

generalmente caratterizzato da regimi pluviometrici alquanto siccitosi che, soprattutto negli anni più recenti, ha fatto registrare una flessione delle precipitazioni di circa il 7% a livello medio nazionale, con apporti piovosi anche inferiori alla soglia dei 500 mm all'anno lì dove, invece, erano "normalmente" attesi fra gli 800 ed i 900 mm/anno<sup>1</sup>. Particolarmente allarmante appare la riduzione degli apporti piovosi (ma anche nevosi) nelle aree di montagna (mediamente -11% a livello nazionale, con picchi negativi di -21% in Toscana e -18% in Friuli Venezia Giulia), sia per le dirette conseguenze negative sugli ecosistemi forestali ivi presenti, sia per le ripercussioni indirette su comunità umane e agricoltura dei territori limitrofi a causa della ridotta capacità di ricarica degli invasi di valle.

Minori precipitazioni, a ogni buon conto, significano anche un aumento della superficie territoriale interessata da regimi pluviometrici secchi. In questo caso, a soffrirne di più, sono le zone con valori di precipitazione in assoluto già scarsi, dove anche minime variazioni negative possono accentuare lo stato di carenza strutturale di apporti di acqua piovana. Esempi rilevanti appaiono quelli relativi alla provincia di Foggia, dove la porzione di superficie territoriale interessata da apporti annui inferiori ai 600 mm è passata dal 15% al 61%; la provincia di Oristano dove si è osservata una variazione dall'8% al 76%; la provincia di Nuoro che è passata dal 46% al 79%.

Le precipitazioni sono state ulteriormente analizzate attraverso un indice di variabilità, il coefficiente di variazione, da cui è possibile derivare l'eventuale tendenza dei regimi pluviometrici a scostarsi dal riferimento climatico per variazioni interannuali della frequenza di fenomeni estremi (precipitazioni intense o, viceversa, periodi di prolungata siccità). Tale indicatore ha fornito risultati molto eterogenei, sia per quanto riguarda la distribuzione territoriale, sia nel raffronto fra i due periodi temporali. Aree caratterizzate da regimi pluviometrici ad elevata variabilità si localizzano indifferentemente al Nord come nel Mezzogiorno. Si evidenzia, ad esempio, una condizione di elevata variabilità degli apporti meteorici nella Sicilia Sud-Orientale che, in considerazione di un regime climatico spiccatamente secco, individua un ambito territoriale esposto a rischio di siccità con conseguente possibile degrado dei suoli. Anche in altre aree si manifesta una notevole variabilità delle precipitazioni, in particolare nel Salento, nelle aree Appenniniche Centro-Settentrionali e in Valle D'Aosta, dove il CV si colloca fra il 20 ed il 30% del valore medio della precipitazione annuale.

La stagionalità degli apporti meteorici, elemento peculiare dei regimi pluviometrici italiani, è stata analizzata, inoltre, attraverso l'indice di concen-

<sup>1</sup> Presso la storica stazione meteorologica di Roma – Collegio Romano, ad esempio, a fronte di un valore climatico di circa 766 mm, calcolato sul periodo 1862-2000, sono stati misurati 480 mm nel 2006 e 444 mm nel 2007.

trazione delle piogge. Valori di questo indice prossimi all'unità si riscontrano in prevalenza nelle regioni settentrionali ed indicano che le piogge sono distribuite abbastanza omogeneamente nell'arco dell'anno. In alcuni ambiti territoriali del Nord, in particolare nella fascia altimetrica di montagna, non sono infrequenti valori dell'indice di concentrazione delle piogge superiori ad 1 (ad esempio, in Trentino, è stato toccato il valore massimo assoluto di 1,77) indicando, in questo caso, una concentrazione delle precipitazioni nella stagione estiva. Al sud e nelle isole, invece, i valori generalmente bassi dell'indicatore (come, ad esempio, il valore di 0,35 ottenuto per la fascia altimetrica di pianura in Calabria, Sardegna e Sicilia) testimoniano un regime climatico di impronta tipicamente mediterranea, con stagioni estive secche, anche molto prolungate, alternate a periodi relativamente umidi coincidenti con la stagione autunno-invernale. Nel raffronto fra i periodi 1961-1990 e 1971-2000, l'indice di concentrazione delle piogge ha evidenziato quasi ovunque una variazione temporale positiva e ciò, in considerazione delle tendenze climatiche in atto, testimonia che la riduzione delle precipitazioni ha interessato in prevalenza le stagioni autunnali ed invernali e/o una maggiore frequenza di eventi estremi (*heavy rain*) in primavera ed estate.

#### 6.1.2 – *Aridità e siccità*

Considerando le caratteristiche dei vari regimi pluviometrici (in termini di apporti quantitativi complessivi e di distribuzione dei fenomeni meteorici nell'arco dell'anno) congiuntamente ai flussi evapotraspirativi stagionali, è possibile identificare condizioni strutturali di aridità anche nel multiforme panorama climatico italiano. Accanto ed in sovrapposizione all'aridità, riconosciuta come condizione strutturale del clima, intervengono fenomeni di siccità, dal carattere occasionale e discontinuo (anche se caratterizzati da una certa ricorrenza) che contribuiscono talora ad aggravare situazioni già alquanto difficili per quanto riguarda la disponibilità idrica nel suo complesso.

Un indicatore rappresentativo di tali situazioni, come già descritto nel capitolo 5, è costituito dall'indice di aridità, espresso dal rapporto fra i valori annuali delle precipitazioni e quelli di evapotraspirazione. Una sintesi dei risultati ottenuti è mostrato dalla tabella 6.2.

Valori dell'indice di aridità associati ad una condizione climatica umida (da 0,65 a 1) o iper-umida ( $> 1$ ) caratterizzano la gran parte degli ambiti territoriali di collina e montagna del centro nord, mentre valori più bassi dell'indice, associati a condizioni strutturali di scarsi apporti piovosi (soprattutto durante la stagione estiva), si riconoscono prevalentemente nel sud e nelle isole. L'evoluzione temporale dell'indice, concordemente alle tendenze riscontrate per le precipitazioni e per le temperature (cui si legano i livelli di evapotraspirazione), mostra con ampia evidenza il generale peggioramento delle condizioni di aridità. A soffrirne sono soprattutto le regioni del Mezzogiorno che, partendo da

Tabella 6.2 – Indice di aridità (IA) per regioni e fasce altimetriche

Regione	Periodo 1961-1990			Periodo 1971-2000			Differenza "1990"/"2000"			Differenza "1990"/"2000"		
	valori regionali (mm)			valori regionali (mm)			valori regionali (mm)			valori regionali (%)		
	pianura	collina	montagna	pianura	collina	montagna	pianura	collina	montagna	pianura	collina	montagna
Piemonte	1.24	1.07	1.48	1.24	1.09	1.34	0.00	0.02	-0.14	0	2	-10
Valle d'Aosta	-	-	1.59	-	-	1.54	-	-	-0.05	-	-	-3
Lombardia	1.17	1.56	1.63	1.14	1.47	1.47	-0.03	-0.09	-0.15	-2	-6	-9
Trentino Alto-Adige	-	-	1.47	-	-	1.41	-	-	0.06	-	-	-4
Veneto	1.15	1.52	1.76	1.10	1.33	1.54	-0.05	-0.20	-0.21	-4	-13	-12
Friuli Venezia Giulia	1.53	1.76	2.23	1.36	1.50	1.78	-0.16	-0.26	-0.45	-11	-15	-20
Liguria	1.01	1.08	1.09	0.96	1.00	1.02	-0.05	-0.08	-0.08	-5	-7	-7
Emilia Romagna	0.92	1.15	1.61	0.91	1.08	1.37	-0.01	-0.07	-0.23	-1	-6	-14
Toscana	0.94	1.12	1.52	0.89	1.03	1.21	-0.05	-0.10	-0.31	-5	-9	-21
Umbria	-	0.97	1.06	-	0.92	0.96	-	-0.05	-0.10	-	-5	-9
Marche	0.91	1.05	1.07	0.88	1.00	0.99	-0.03	-0.06	-0.08	-4	-6	-7
Lazio	0.93	1.06	1.18	0.87	0.98	1.07	-0.06	-0.08	-0.11	-6	-7	-9
Abruzzo	0.79	0.86	1.00	0.76	0.83	0.92	-0.03	-0.03	-0.07	-4	-4	-7
Molise	0.60	0.85	1.06	0.58	0.79	0.91	-0.02	-0.07	-0.15	-4	-8	-14
Campania	0.98	1.00	0.85	0.89	0.92	0.78	-0.09	-0.08	-0.07	-9	-8	-8
Puglia	0.56	0.62	-	0.55	0.59	-	-0.01	-0.03	-	-3	-5	-
Basilicata	0.58	0.64	0.83	0.56	0.63	0.78	-0.01	-0.01	-0.05	-2	-1	-6
Calabria	0.76	0.86	0.90	0.72	0.79	0.84	-0.04	-0.07	-0.06	-5	-8	-7
Sicilia	0.48	0.52	0.62	0.49	0.51	0.55	0.01	-0.01	-0.06	1	-2	-10
Sardegna	0.51	0.57	0.62	0.48	0.50	0.52	-0.04	-0.07	-0.10	-7	-12	-16
<b>Italia</b>	<b>0.89</b>	<b>1.02</b>	<b>1.24</b>	<b>0.85</b>	<b>0.94</b>	<b>1.11</b>	<b>-0.04</b>	<b>-0.07</b>	<b>-0.13</b>	<b>-4</b>	<b>-7</b>	<b>-11</b>

situazioni già fortemente penalizzate, hanno subito un ulteriore aggravamento scivolando, in taluni casi (aree di pianura di Sicilia e Sardegna) verso condizioni di aridità conclamata ( $IA < 0.5$ ). Nel nord Italia, invece, si individuano generalmente condizioni non preoccupanti, anche se nel periodo più recente si sono manifestate tendenze negative molto significative. In Friuli Venezia Giulia, ad esempio, l'indice di aridità ha registrato una diminuzione dell'11% in pianura, del 15% in collina e del 20% in montagna.

Le indicazioni fornite dall'indice di aridità sono inoltre confermate da ulteriori analisi basate su altre variabili, quali il contenuto di umidità del suolo derivato dal bilancio idrico. Nel meridione d'Italia, tale indicatore si attesta in prevalenza su valori compresi fra il 30% ed il 50%, segnalando che più di 180 giorni all'anno presentano condizioni di umidità del suolo deficitarie. In queste regioni è anche evidente una forte riduzione dei giorni umidi nel trentennio 1971-2000, soprattutto in Sardegna ed in Puglia. La situazione, analizzata in termini assoluti, è sensibilmente migliore al nord, dove nell'80% dei giorni dell'anno l'umidità del terreno è superiore ai 20 mm e dove l'estensione temporale delle condizioni di deficit idrico nel periodo 1971-2000 appare più contenuta rispetto al resto del Paese.

Ulteriori indicazioni sono state ottenute dal computo dei cosiddetti periodi secchi (cfr. Cap. 5): le informazioni elaborate restituiscono a scala nazionale un periodo secco medio di 123 giorni/anno per il 1961-1990 e di 126 giorni/anno per il 1971-2000, con un aumento di circa il 3%. Nel primo trentennio, il periodo secco mediamente più lungo, di 211 giorni/anno, è stato riscontrato in Sicilia, mentre quello mediamente più breve, pari a 77 giorni/anno, è stato rilevato nelle Marche. In entrambi i casi, nel periodo 1971-2000, il fenomeno ha manifestato un'evoluzione positiva che ha portato rispettivamente i periodi secchi a 213 e 85 giorni/anno con un incremento dell'1% e del 11%. A livello nazionale, le aree che hanno visto aumentare maggiormente la lunghezza dei periodi secchi sono quelle afferenti alla fascia altimetrica di montagna dove, mediamente, è stato registrato un incremento del 5.3% a fronte del 2.2% della collina e di appena lo 0.2% della pianura.

Una conferma del generale deterioramento delle condizioni climatiche arriva anche dall'indice SPI (Standardized Precipitation Index). La frequenza di valori dell'indice inferiori a -0.99 (corrispondenti, secondo la terminologia corrente, a condizioni di clima più o meno secco) è infatti aumentata a livello medio nazionale del 6.2%. Per quanto riguarda gli ambiti territoriali maggiormente interessati da questa tendenza, ancora una volta si deve evidenziare un forte incremento di periodi secchi in montagna, soprattutto nelle regioni settentrionali di nord est. In Trentino Alto Adige, ad esempio, la frequenza di valori di SPI inferiori a -0.99 è aumentata nel secondo trentennio del 35%, in Veneto del 34%, in Lombardia del 26%, in Piemonte del 19%, in Liguria del 21%. In controtendenza appaiono invece alcuni segnali rilevati

nei territori di montagna della Val d'Aosta (-12%), del Molise (-23%), della Toscana (-4%) e nella fascia altimetrica di pianura della Toscana (-10%), della Campania (-10%), della Calabria (-4%), della Sicilia (-7%) e della Sardegna (-9%).

## 6.2. URBANIZZAZIONE

### 6.2.1 – *Densità della popolazione*

La densità demografica evidenzia, su tutto il territorio nazionale, un netto gradiente altimetrico: le aree di pianura, infatti, presentano densità massima, che decresce proporzionalmente nelle aree collinari interne raggiungendo il valore minimo nella fascia altimetrica di montagna (Tabella 6.3). A livello regionale, la densità raggiunge il valore massimo in Campania con 787 abitanti/kmq e ben 2.181 abitanti/kmq nella sola fascia altimetrica di pianura. Considerando un valore soglia di 400 abitanti/kmq, anche in Sicilia, Lombardia e Toscana si registrano densità elevate nella fascia costiera, come pure nella collina interna della Campania. La fascia costiera laziale, invece, si posiziona leggermente sotto la soglia, come pure la zona collinare ligure, che pure ingloba i comuni costieri. L'elevata densità di popolazione, unita

Tabella 6.3 – Densità di popolazione (abitanti/kmq) per regione e fascia altimetrica (anno 2001)

Regione	Fascia altimetrica			Totale
	Pianura	Collina	Montagna	
Piemonte	238,3	151,0	78,7	150,3
Valle d'Aosta	–	–	71,7	71,7
Lombardia	623,9	668,5	179,0	496,9
Trentino-Alto Adige	–	–	102,2	102,2
Veneto	320,9	282,4	70,2	262,5
Friuli-Venezia Giulia	228,7	233,0	28,8	176,7
Liguria	–	376,8	104,7	249,4
Emilia-Romagna	263,5	192,2	36,7	196,2
Toscana	477,3	217,5	87,4	203,4
Umbria	–	97,8	43,3	83,6
Marche	–	207,2	34,3	175,6
Lazio	392,5	217,1	63,3	176,2
Abruzzo	–	227,5	45,4	128,4
Molise	–	72,2	55,3	61,7
Campania	2180,8	586,8	105,1	787,3
Puglia	347,1	123,6	58,1	277,5
Basilicata	101,4	56,0	51,9	55,6
Calabria	223,2	172,6	96,6	146,9
Sicilia	956,6	297,0	132,7	322,1
Sardegna	189,0	47,9	25,8	76,2
<b>Italia</b>	<b>511,8</b>	<b>271,8</b>	<b>96,7</b>	<b>278,5</b>

anche a fenomeni di spopolamento e di *sprawling*, nonché la notevole acclività dei terreni, le precipitazioni intense e l'annosa piaga degli incendi che caratterizzano parte di questa regione rendono il territorio complessivamente vulnerabile.

A livello geografico, si registrano i valori di densità più elevati in corrispondenza delle aree urbane generalmente superiori a 1.500 abitanti/kmq. Tuttavia, la classe intermedia compresa fra 500 e 1.000 abitanti/kmq presenta una diffusione piuttosto ampia, sebbene eterogenea a livello spaziale, includendo quasi per intero la Puglia, la pianura padana, buona parte del Lazio e della Campania, nonché la valle dell'Arno e la fascia costiera adriatica delle Marche e dell'Abruzzo.

### 6.2.2 – *Variazione demografica*

La variazione della popolazione negli ultimi decenni evidenzia, al pari della densità demografica, un netto gradiente altimetrico pressoché in tutta la penisola. Considerando il decennio 1991-2001 (Tabella 2), si nota come la popolazione italiana sia aumentata del 5% nelle zone di pianura, dell'1% in quelle collinari, ma sia diminuita del 2% nella fascia altimetrica montana. Quest'ultima zona, storicamente soggetta a fenomeni di spopolamento a favore delle zone più a valle, manifesta ancora negli anni più recenti un calo demografico anche consistente in tutte le regioni peninsulari, raggiungendo il valore massimo in Puglia pari a -15%, nonché in Friuli-Venezia Giulia (-8,5%) ed in Piemonte (-4%), mentre le altre regioni settentrionali presentano un incremento, comunque ridotto in valori percentuali. In termini di spopolamento rurale, la situazione appare molto seria nell'Italia meridionale ed insulare: considerando, a livello regionale, una soglia del  $\pm 5\%$  ad indicare fenomeni di incremento/riduzione demografica che potrebbero incidere sulla vulnerabilità ambientale del territorio, si nota come in tre regioni meridionali (Molise, Basilicata, Calabria) questa soglia venga superata sia nella zona montana che in quella collinare, indicando a livello complessivo un decremento intorno al 7%. La Calabria, peraltro, è l'unica regione dove si registra un decremento, seppur lieve, anche nella zona costiera.

Gli incrementi più consistenti si registrano nella fascia altimetrica di pianura, coincidente nelle regioni peninsulari con la fascia costiera. Segnaliamo in questi ambiti la situazione che si osserva nel Lazio (+10%) e in Campania (+8%), legata principalmente all'aumento delle cubature di edilizia residenziale nei comuni dell'hinterland romano e napoletano, unito all'incremento della pressione turistica in tutti i comuni costieri, che causano sinergicamente condizioni predisponenti al degrado delle terre (Salvati *et al.* 2005). Nella pianura padana, gli incrementi maggiori si registrano in Emilia-Romagna (6%) ed in Lombardia (9%), anche qui legati al continuo sviluppo delle aree metropolitane (Tab. 6.4).



Tabella 6.4 – Variazione demografica rilevata nei periodi 1981-91 e 1991-2001 per regione e fascia altimetrica (incidenza percentuale)

Regione	1981-1991				1991-2001			
	Fascia altrimetrica			Totale	Fascia altrimetrica			Totale
	Pianura	Collina	Montagna		Pianura	Collina	Montagna	
Piemonte	-1,4	-2,2	-10,3	-4,3	1,8	1,9	-4,1	0,1
Valle d'Aosta	-	-	3,4	3,4	-	-	5,3	5,3
Lombardia	4,2	5,0	-1,7	2,5	8,9	8,4	1,9	6,7
Trentino Alto-Adige	-	-	1,0	1,0	-	-	6,5	6,5
Veneto	2,6	4,4	-4,5	1,5	5,6	8,8	0,0	5,1
Friuli Venezia Giulia	-0,6	-1,2	-15,9	-4,8	2,0	0,9	-8,5	-1,0
Liguria	-	0,0	-7,4	-3,4	-	1,5	-3,7	-1,0
Emilia Romagna	1,2	2,6	-9,2	-0,4	5,8	8,3	-4,4	4,6
Toscana	1,2	0,5	-5,2	-1,1	2,8	2,9	-1,8	1,5
Umbria	-	1,5	-4,8	-0,1	-	3,1	-3,3	1,4
Marche	-	1,2	-8,1	-0,5	-	4,3	-3,3	2,9
Lazio	10,8	6,8	-2,9	3,9	9,6	5,3	-2,0	3,2
Abruzzo	-	0,8	-9,6	-4,9	-	0,1	-8,1	-4,4
Molise	-	-6,0	-8,8	-7,7	-	-7,1	-7,7	-7,5
Campania	12,2	2,7	-3,2	3,2	8,0	-1,1	-7,7	-0,8
Puglia	5,7	-0,2	-21,9	3,3	0,7	-1,0	-15,2	-0,2
Basilicata	5,2	-5,5	-5,2	-4,9	0,1	-7,4	-7,4	-7,0
Calabria	-0,3	-1,7	-3,3	-2,2	-1,2	-7,5	-5,6	-6,5
Sicilia	5,7	2,2	-4,8	0,8	2,0	-2,0	-6,4	-2,7
Sardegna	4,7	-2,4	-11,3	-1,7	1,0	-4,2	-6,9	-3,3
<b>Italia</b>	<b>3,3</b>	<b>0,9</b>	<b>-4,9</b>	<b>-0,3</b>	<b>5,5</b>	<b>1,3</b>	<b>-2,0</b>	<b>1,3</b>

### 6.3 SALINIZZAZIONE

Con riferimento alla salinizzazione dei suoli e alla effettiva disponibilità di informazioni di base, è stato ricavato un indicatore delle “Aree a rischio di salinizzazione primaria”. Le aree sono delimitate secondo la procedura descritta nei capitoli precedenti tenendo conto della presenza di litotipi salini o di pianure costiere.

Nelle applicazioni basate sull'approccio ESA/Medalus, la salinizzazione non viene generalmente considerata e, pertanto, l'indicatore è stato utilizzato soltanto nell'elaborazione dell'indice LVI. Nel calcolo dell'indicatore le aree a rischio di salinizzazione sono state riferite alla superficie comunale ed espresse in termini percentuali. La tabella 6.5 fornisce una sintesi a livello regionale.

Il dato evidenzia una maggiore incidenza nelle regioni Puglia, Sicilia e Sardegna che presentano valori superiori o pari al 10%. Lazio, Veneto, Friuli, Marche, Toscana, Campania ed Emilia-Romagna presentano valori intermedi,

Tabella 6.5 – Aree a rischio di salinizzazione primaria  
(percentuale sulla superficie regionale)

Regione	area (ha)	area a rischio (ha)	% aree a rischio
Piemonte	2.539.760	17.725	1%
Valle d'Aosta	325.840	0	0%
Lombardia	2.386.400	1.299	0%
Trentino-Alto Adige	1.360.710	0	0%
Veneto	1.842.230	150.815	8%
Friuli-Venezia Giulia	785.941	59.884	8%
Liguria	540.938	24.186	4%
Emilia-Romagna	2.212.070	124.962	6%
Toscana	2.298.920	163.101	7%
Umbria	846.477	0	0%
Marche	972.674	71.370	7%
Lazio	1.722.520	149.889	9%
Abruzzo	1.082.87	38.159	4%
Molise	445.934	12.361	3%
Campania	1.366.590	96.379	7%
Puglia	1.953.590	326.892	17%
Basilicata	1.007.090	28.295	3%
Calabria	1.521.890	148.758	10%
Sicilia	2.582.400	361.116	14%
Sardegna	2.407.340	241.693	10%
<b>Italia</b>	<b>30.202.184</b>	<b>2.016.884</b>	<b>7%</b>

compresi tra il 9 ed il 6%. Il dato medio nazionale è pari al 7%. Sul totale delle aree a rischio, il 12% è imputabile a suoli con litotipi salini mentre l'88% è rappresentato da pianure costiere. Le aree in cui sono presenti entrambi i fattori sono trascurabili. La maggiore importanza delle zone litoranee fornisce un'indicazione anche in termini di distribuzione altimetrica: le aree a maggior rischio di salinizzazione primaria sono infatti concentrate in maniera preponderante nella fascia di pianura.

#### 6.4 EROSIONE DEI SUOLI

Il sistema di degrado imputabile all'erosione idrica viene descritto in questo lavoro attraverso indicatori legati alla qualità dei suoli, alla qualità della vegetazione, alla pressione antropica ed infine alle misure agro-ambientali ed alle aree protette. Nei paragrafi successivi verrà fatta una disamina sia del *pattern* spaziale che, ove possibile, dell'andamento temporale degli indicatori più importanti (suoli, vegetazione). Mentre per la qualità della vegetazione è possibile un confronto tra 1990 e 2000, per gli indicatori legati ai suoli le valutazioni esulano dal riferimento temporale. Lo stesso dicasi per la valutazione della qualità dei suoli basata sull'approccio ESA/Medalus.

### 6.4.1 – Qualità dei suoli

La tabella 6.6 sintetizza i valori medi calcolati su base regionale dei principali indicatori legati ai suoli.

Tabella 6.6 – Valori medi dei principali indicatori legati ai suoli su base regionale

Regione	Profondità del suolo (cm)	Available water capacity (mm)	Classe tessiturale dominante	Rischio di erosione idrica (tonn/ha/anno)	Pendenza (%)
Piemonte	117	123	franco-limoso	5,1	23,4
Valle d'Aosta	90	141	franco-sabbioso	10,1	51,0
Lombardia	126	101	franco	3,4	19,4
Trentino-Alto Adige	85	126	franco-sabbioso	6,6	44,0
Veneto	129	107	franco-limoso	2,8	14,7
Friuli-Venezia Giulia	74	65	franco	5,2	24,0
Liguria	85	115	franco	5,5	29,6
Emilia-Romagna	123	79	franco-limoso-argilloso	5,2	10,6
Toscana	90	62	franco	3,6	15,6
Umbria	103	67	franco-argilloso	5,0	16,9
Marche	118	78	franco-limoso-argilloso	12,0	18,3
Lazio	94	90	franco-argilloso	5,4	13,0
Abruzzo	98	77	argillo-limoso	8,4	21,8
Molise	118	79	argilloso	11,6	15,6
Campania	126	92	argilloso	9,8	17,1
Puglia	85	83	franco-argilloso	2,8	3,9
Basilicata	115	84	argilloso	9,7	15,2
Calabria	119	89	franco-sabbioso	8,0	19,2
Sicilia	90	68	argilloso	10,8	14,4
Sardegna	69	48	franco-sabbioso	7,5	14,1

Sardegna, Friuli Venezia Giulia, Puglia, Liguria e Trentino Alto Adige presentano suoli mediamente meno profondi, un pattern in parte confermato anche nei valori dell'AWC. I valori medi relativi al rischio di erosione idrica sono più alti nelle Marche, Molise, Sicilia e Valle d'Aosta. L'approccio ESA/Medalus consente una valutazione sintetica degli indicatori legati alla qualità dei suoli attraverso l'SQI<sup>2</sup>. La tabella 6.7 riporta il range ed i valori medi calcolati su base regionale.

Molise, Marche e Sicilia presentano i valori medi di SQI più alti (e quindi qualità ambientale inferiore). Puglia, Trentino, Lombardia e Veneto hanno, viceversa, valori SQI bassi<sup>3</sup>.

<sup>2</sup> Gli indicatori usati per l'SQI (profondità, AWC, tessitura, substrato, pendenza) sono quasi del tutto coincidenti con quelli utilizzati per l'LVI. Con l'eccezione della pendenza che viene utilizzata come *proxy* per il rischio di erosione.

<sup>3</sup> Va precisato che sono escluse dal calcolo dello SQI le aree non valutate per mancanza di dati. Come detto nei capitoli precedenti queste hanno un peso significativo nelle regioni Trentino Alto-Adige, Lombardia, Veneto, Liguria.

Tabella 6.7 – Valori di SQI su base regionale

<b>Regione</b>	<b>MIN</b>	<b>MAX</b>	<b>media</b>
Piemonte	1,00	1,70	1,35
Valle d'Aosta	1,06	1,55	1,32
Lombardia	1,00	1,68	1,30
Trentino-Alto Adige	1,00	1,60	1,27
Veneto	1,00	1,60	1,31
Friuli-Venezia Giulia	1,06	1,70	1,40
Liguria	1,00	1,60	1,36
Emilia-Romagna	1,12	1,86	1,43
Toscana	1,06	1,86	1,43
Umbria	1,00	1,86	1,43
Marche	1,06	1,86	1,44
Lazio	1,00	1,78	1,33
Abruzzo	1,00	1,78	1,42
Molise	1,12	1,79	1,48
Campania	1,00	1,79	1,35
Puglia	1,00	1,79	1,26
Basilicata	1,00	1,71	1,43
Calabria	1,00	1,78	1,35
Sicilia	1,00	1,93	1,44
Sardegna	1,06	1,84	1,34
Italia	1,00	1,92	1,36

#### 6.4.2 – Copertura vegetale

Il VQI, calcolato secondo l'approccio ESA/Medalus, fornisce un giudizio sintetico espresso da alcuni importanti indicatori legati alla qualità della copertura vegetale<sup>4</sup>. Nella tabella 6.8 sono riportati i valori del VQI relativi alle singole regioni italiane tra cui, quelle che presentano valori mediamente più alti (corrispondenti a qualità ambientale inferiore), si evidenziano l'Emilia Romagna, il Veneto, le Marche e la Puglia. Il Trentino Alto Adige, la Valle d'Aosta e la Liguria presentano, viceversa, i valori più bassi. Nel raffronto tra i due periodi considerati si può osservare come le variazioni siano complessivamente marginali, anche se mediamente, a livello nazionale, si può osservare un lieve miglioramento (-0,1%) della condizione ambientale legata a questo indice. La variazione massima (pari a -0,7%) si registra in Sardegna.

#### 6.4.3 – Indice sintetico del sistema di degrado per erosione idrica

I risultati relativi al computo dell'indice sintetico del sistema di degrado per erosione sono riportati nella tabella 6.9. Le regioni che presentano indici più elevati (media tra i due periodi) di vulnerabilità imputabili a questo sistema di

<sup>4</sup> Nell'LVI agli indicatori del VQI è stato aggiunto un "indice di resistenza alla siccità modificato".

Tabella 6.8 – Valori di VQI su base regionale. Confronto 1990-2000

Regione	vqi 1990	vqi 2000	media 1990-2000	variazione 1990-2000 (%)
Piemonte	1,47	1,47	1,47	0,1%
Valle d'Aosta	1,33	1,33	1,34	-0,1%
Lombardia	1,55	1,52	1,52	0,0%
Trentino-Alto Adige	1,34	1,34	1,34	-0,1%
Veneto	1,58	1,58	1,58	-0,1%
Friuli-Venezia Giulia	1,45	1,45	1,46	-0,2%
Liguria	1,31	1,31	1,31	0,0%
Emilia-Romagna	1,60	1,60	1,61	-0,3%
Toscana	1,44	1,44	1,45	-0,1%
Umbria	1,49	1,49	1,50	0,1%
Marche	1,57	1,57	1,58	-0,1%
Lazio	1,52	1,52	1,52	0,0%
Abruzzo	1,47	1,47	1,47	-0,2%
Molise	1,55	1,55	1,55	0,0%
Campania	1,50	1,50	1,50	0,0%
Puglia	1,56	1,56	1,56	0,0%
Basilicata	1,52	1,52	1,53	-0,1%
Calabria	1,42	1,42	1,43	0,0%
Sicilia	1,52	1,52	1,52	0,0%
Sardegna	1,45	1,44	1,45	-0,7%
<b>Italia</b>	<b>1,49</b>	<b>1,49</b>	<b>1,50</b>	<b>-0,1%</b>

Tabella 6.9 – Indice sintetico relativo al sistema erosione

Regione	media 1990	media 2000	media 1990-2000	variazione 1990-2000 (%)
Piemonte	0,50	0,47	0,48	-4,8%
Valle d'Aosta	0,38	0,36	0,37	-4,4%
Lombardia	0,52	0,50	0,51	-4,0%
Trentino-Alto Adige	0,36	0,34	0,35	-4,9%
Veneto	0,58	0,56	0,57	-3,1%
Friuli-Venezia Giulia	0,52	0,50	0,51	-4,2%
Liguria	0,41	0,39	0,40	-3,8%
Emilia-Romagna	0,57	0,55	0,56	-4,0%
Toscana	0,49	0,48	0,48	-3,5%
Umbria	0,51	0,51	0,51	0,0%
Marche	0,54	0,54	0,54	-1,1%
Lazio	0,52	0,51	0,51	-3,6%
Abruzzo	0,47	0,46	0,47	-2,7%
Molise	0,54	0,52	0,53	-3,2%
Campania	0,50	0,48	0,49	-3,0%
Puglia	0,56	0,54	0,55	-2,4%
Basilicata	0,53	0,52	0,52	-2,6%
Calabria	0,46	0,45	0,45	-2,6%
Sicilia	0,55	0,54	0,55	-3,3%
Sardegna	0,50	0,48	0,49	-2,7%
<b>Italia</b>	<b>0,51</b>	<b>0,50</b>	<b>0,50</b>	<b>-3,1%</b>

degrado sono, nell'ordine, Veneto, Emilia Romagna, Puglia, Sicilia e Marche. Le regioni con indici più bassi sono Liguria, Valle d'Aosta, Trentino Alto Adige. Dal confronto tra i due periodi considerati emerge un lieve miglioramento dell'indice (+3% circa). Questa tendenza è riconducibile al già citato miglioramento nella qualità della vegetazione oltre che a miglioramenti registrati a carico di altri indicatori che, pur considerati in questo sistema di degrado, non sono discussi nel dettaglio in questo contesto<sup>5</sup>.

## 6.5 INQUINAMENTO DA FONTI DIFFUSE E PUNTUALI (CARICO ORGANICO)

La determinazione del carico organico è stata basata sul concetto di *abitante equivalente*, ovvero sulla quantità di carico inquinante corrispondente a quella prodotta da un individuo nell'arco delle 24 ore per un anno. L'abitante equivalente (AE) è convenzionalmente definito come “*il carico organico giornaliero biodegradabile avente una richiesta biochimica di ossigeno a 5 giorni pari a 60 grammi di ossigeno*”. Le componenti che concorrono alla definizione di questo indicatore corrispondono a tre diverse possibili fonti di generazione dell'inquinamento, quella derivante dall'attività zootecnica, quella derivante dall'attività industriale e, infine, quella derivante dalla popolazione residente.

L'analisi degli AE (Tabella 6.10) per regione e fascia altimetrica, evidenzia una marcata diminuzione a livello nazionale del carico organico totale determinato da una diminuzione dei valori dell'indice in tutte le regioni. In particolare, la diminuzione dei valori interessa in misura maggiore le regioni del centro-sud mentre per il nord la riduzione risulta più contenuta. L'unica regione in controtendenza con questi risultati risulta essere la Valle D'Aosta dove si registra un incremento dell'indice del 77,48%. L'aumento del carico inquinante verificatosi in questa regione è imputabile quasi esclusivamente all'attività zootecnica, mentre i carichi industriali e quelli attribuibili alla popolazione residente invece registrano rispettivamente una diminuzione (-18,7%) ed un lieve aumento (+3,1%).

Osservando poi la distribuzione della differenza percentuale tra il 1991 e 2001 per fascia altimetrica si rileva che accanto ad una diminuzione generalizzata del carico inquinante si assiste ad un incremento nelle zone di montagna localizzato in tre regioni, Valle D'Aosta, Emilia Romagna e Puglia, con valori rispettivamente pari al +77,48%, +8,71% e +2,72%. In tutti e tre questi casi si presenta, esclusivamente nelle zone di montagna, una criticità legata al carico

<sup>5</sup> Per quanto riguarda il sistema di degrado da erosione, oltre a quelli già ricordati, sono stati considerati una serie di indicatori legati alla pressione antropica (indice di intensità nell'uso del suolo agroforestale, indice di pascolamento, superfici soggette ad incendi), a misure agro-ambientali ed alle aree protette.

inquinante derivante dall'attività zootecnica anche se complessivamente, in Emilia Romagna e Puglia, questa tipologia di carico organico risulta in diminuzione rispetto al 1991.

Un'altra specificità che emerge dalla lettura della Tabella 6.10 riguarda la regione Campania, dove, la riduzione del carico inquinante al 2001 risulta molto esigua non raggiungendo neanche la soglia dell'1%. La disaggregazione di questo dato per fascia altimetrica evidenzia inoltre un incremento del carico inquinante nei comuni di pianura che, seppur bilanciato da una diminuzione nelle fasce collinari e di montagna, emerge come dato anomalo rispetto al resto del Paese.

Tabella 6.10 – Abitanti Equivalenti per regione e fascia altimetrica.  
Anno 2001 e differenza percentuale fra il 1991 e il 2001

Regione	Anno 2001			Differenza rispetto al 1991			Totale
	Fascia altimetrica			Fascia altimetrica			
	Pianura	Collina	Montagna	Pianura	Collina	Montagna	
Piemonte	55.8	33.6	10.6	-8.7	-5.9	-5.5	-7.4
Valle d'Aosta	-	-	100.0	-	-	77.5	77.5
Lombardia	78.9	14.2	6.9	-6.1	-4.8	-13.7	-6.5
Trentino-Alto Adige	-	-	100.0	-	-	-7.4	-7.4
Veneto	77.0	16.9	6.1	-9.1	-2.0	-11.1	-8.1
Friuli-Venezia Giulia	61.5	33.1	5.5	-11.0	-1.3	-18.5	-8.5
Liguria	-	44.8	55.2	-	-17.3	-24.7	-21.5
Emilia Romagna	66.4	25.6	8.0	-11.4	-9.3	8.7	-9.5
Toscana	19.2	65.6	15.3	-9.6	-11.2	-10.5	-10.8
Umbria	-	86.0	14.0	-	-9.7	-12.1	-10.0
Marche	-	88.7	11.3	-	-14.3	-15.4	-14.4
Lazio	49.3	41.5	9.2	-21.4	-12.8	-22.3	-18.1
Abruzzo	-	69.2	30.8	-	-7.8	-20.2	-12.0
Molise	-	36.1	63.9	-	-6.0	-9.2	-8.1
Campania	36.5	50.9	12.5	12.2	-7.1	-6.4	-0.8
Puglia	61.9	37.4	0.8	-13.9	-6.5	2.7	-11.1
Basilicata	6.5	41.1	52.4	-18.8	-2.6	-12.6	-9.2
Calabria	12.9	60.4	26.7	-7.9	-17.9	-21.9	-17.9
Sicilia	29.6	48.9	21.5	-19.8	-23.0	-31.5	-24.1
Sardegna	29.5	59.8	10.7	-10.9	-12.6	-14.4	-12.3
<b>Italia</b>	<b>51.2</b>	<b>35.3</b>	<b>13.5</b>	<b>-9.2</b>	<b>-10.3</b>	<b>-13.2</b>	<b>-10.1</b>

## 6.6 AGRICOLTURA

### 6.6.1 – Intensificazione agricola

I fenomeni di intensificazione agricola interessano in forma diffusa il territorio nazionale, anche se non in maniera omogenea, con una distribuzione spaziale dipendente essenzialmente dal gradiente altitudinale nonché dagli input

produttivi attribuiti al settore primario (Tabella 6.11). Nell'anno 2000 l'indice di intensificazione, infatti, raggiunge i valori massimi nelle zone costiere e pianeggianti per decrescere lievemente nelle zone collinari litoranee ed interne, mentre una pressione ambientale sensibilmente minore si registra nelle zone montuose interne, dove l'indice si attesta su valori di circa tre volte inferiori a quelli misurati in pianura; tale andamento si registra in maniera coincidente praticamente in tutte le regioni italiane.

Tabella 6.11 – Indice di intensificazione agricola per regione e fascia altimetrica. Anno 2000 e differenza percentuale fra il 1990 ed il 2000

Regione	Anno 2000				Differenza percentuale 1990-2000			
	Fascia altimetrica			Totale	Fascia altimetrica			Totale
	Pianura	Collina	Montagna		Pianura	Collina	Montagna	
Piemonte	0,88	0,75	0,08	0,63	-0,96	0,17	-15,76	1,57
Valle d'Aosta	-	-	0,02	0,02	-	-	9,48	9,48
Lombardia	0,92	0,79	0,06	0,73	0,19	1,96	-20,55	1,89
Trentino-Alto Adige	-	-	0,13	0,13	-	-	-1,72	-1,72
Veneto	0,95	0,69	0,09	0,81	-0,19	3,05	10,23	0,48
Friuli-Venezia Giulia	0,97	0,75	0,03	0,83	-0,01	8,16	-31,34	4,02
Liguria	-	0,83	0,23	0,45	-	0,74	-13,90	-2,95
Emilia Romagna	0,98	0,86	0,52	0,90	0,62	-1,84	-7,77	0,93
Toscana	0,91	0,89	0,58	0,84	-0,87	2,40	1,87	2,58
Umbria	-	0,85	0,55	0,77	-	2,17	4,54	3,88
Marche	-	0,95	0,55	0,87	-	1,58	1,90	1,72
Lazio	0,90	0,76	0,28	0,69	0,26	-1,64	-16,35	-3,25
Abruzzo	-	0,97	0,30	0,61	-	-0,09	-7,92	0,91
Molise	-	0,95	0,67	0,82	-	0,58	0,51	1,81
Campania	0,97	0,83	0,71	0,81	0,08	-3,24	0,65	-1,76
Puglia	0,97	0,88	0,86	0,93	1,16	3,18	12,11	2,30
Basilicata	0,90	0,85	0,50	0,72	5,92	-1,48	3,67	2,10
Calabria	0,95	0,80	0,56	0,75	-0,39	-0,17	-11,05	-3,37
Sicilia	0,91	0,89	0,58	0,82	3,30	3,89	-3,35	1,78
Sardegna	0,82	0,42	0,27	0,49	10,83	17,58	13,96	15,97
<b>Italia</b>	<b>0,93</b>	<b>0,81</b>	<b>0,36</b>	<b>0,74</b>	<b>1,03</b>	<b>3,15</b>	<b>-3,73</b>	<b>2,15</b>

A livello regionale, l'andamento dell'indice rispecchia con molta chiarezza l'importanza assunta localmente dalla dimensione economica del settore agricolo e anche dal livello di meccanizzazione dell'agricoltura. In tal senso, le pressioni ambientali più consistenti vengono misurate in Puglia, Marche, Campania e Sicilia. In queste regioni, ad eccezione delle Marche, i fenomeni di intensificazione agricola trovano un impatto molto significativo sui processi di degrado delle terre incidendo direttamente sul grado di vulnerabilità. Fra questi ambiti si evidenziano in particolare il Salento, la Capitanata, la pianura di Napoli e le regioni agrarie della Sicilia sud-orientale, dove l'elevato grado di



intensificazione agricola, unitamente alle locali condizioni climatiche e pedologiche, tratteggiano un contesto ambientale ad elevata vulnerabilità. Analizzando l'evoluzione dell'indicatore avvenuta negli ultimi dieci anni (Tabella 6.11), si osserva un sostanziale incremento a livello nazionale, molto evidente nelle aree di collina e, secondariamente, anche in quelle pianeggianti. Nelle regioni del Mezzogiorno tale tendenza appare più spiccata che altrove, soprattutto in Sardegna (dove si registra il massimo incremento percentuale) ed in Sicilia. Nelle regioni a più elevata vulnerabilità, quali Puglia, Basilicata, Sicilia e Sardegna, l'andamento dell'indice a livello locale conferma la presenza di ambiti ad elevato degrado potenziale, principalmente nelle aree pianeggianti e costiere, dove altri fattori di pressione ambientale agiscono simultaneamente all'intensificazione agricola. Si noti anche che, in queste regioni, spesso l'intensificazione aumenta grandemente anche nelle aree rurali marginali come succede, con particolare risalto, in Puglia ed in Sardegna. Nelle regioni centro-settentrionali, l'andamento tendenziale dell'indicatore appare meno palese. Ad ambiti territoriali dove l'intensificazione è consistentemente aumentata (l'Appennino ligure, le colline della bassa piemontese) si contrappongono aree anche estese dove si registra una rapida regressione (la collina e la montagna emiliana, il Trentino-Alto Adige, la Valle d'Aosta).

In generale, quindi, l'indicatore si presta bene a rappresentare e sintetizzare, con coerenza e dettaglio, i fattori di pressione direttamente legati all'agricoltura. Il territorio italiano risulta distinto in due ambiti: le regioni meridionali, dove l'incremento dei fenomeni di intensificazione, rapido e diffuso, agisce sinergicamente con gli altri fattori di degrado; le regioni centro-settentrionali, dove le iniziali condizioni di elevata intensificazione agricola interagiscono spesso con fattori mitiganti i processi di degrado delle terre e non sempre mostrano una tendenza evolutiva peggiorativa per l'ambiente. In questi ambiti, tuttavia, appare rilevante il monitoraggio permanente dei fenomeni di siccità e inaridimento, con particolare riguardo all'occorrenza dei fenomeni meteorologici stagionali estremi che alterano significativamente il regolare ciclo idrologico e mettono in crisi il sistema agricolo.

#### 6.6.2 – *Assetto dello spazio rurale*

L'assetto dello spazio rurale, indirettamente rappresentato dal rapporto fra superficie agricola utilizzata e superficie agricola totale, evidenzia a livello regionale una caratteristica territoriale eterogenea, congrua, tuttavia, con un modello di sviluppo agricolo legato al gradiente altitudinale, come già descritto per quanto concerne i fenomeni di intensificazione (Tabella 6.12). Un'agricoltura di tipo intensivo risulta maggiormente esercitata in pianura e lungo le coste, molto meno nei territori in quota che presentano, infatti, un valore dell'indicatore significativamente inferiore.

Tale tendenza si osserva piuttosto chiaramente a livello nazionale e a scala

Tabella 6.12 – Rapporto fra Superficie agricola utilizzata (SAU) e superficie agricola totale (SAT) per regione e fascia altimetrica. Anno 2000 e differenza percentuale fra il 1990 ed il 2000

Regione	Anno 2000				Differenza percentuale 1990-2000			
	Fascia altrimetrica			Totale	Fascia altrimetrica			Totale
	Pianura	Collina	Montagna		Pianura	Collina	Montagna	
Piemonte	0,90	0,68	0,52	0,70	2,17	10,63	14,17	10,83
Valle d'Aosta	-	-	0,37	0,37	-	-	-22,25	-22,25
Lombardia	0,89	0,77	0,45	0,73	1,02	6,31	10,64	6,33
Trentino-Alto Adige	-	-	0,38	0,38	-	-	0,04	0,04
Veneto	0,87	0,70	0,33	0,71	1,50	3,74	11,93	4,60
Friuli-Venezia Giulia	0,85	0,69	0,16	0,57	1,82	10,21	-1,35	8,75
Liguria	-	0,41	0,33	0,35	-	24,88	26,84	26,58
Emilia Romagna	0,88	0,69	0,48	0,76	1,43	2,60	7,85	5,61
Toscana	0,70	0,55	0,37	0,53	2,64	1,12	-3,50	0,94
Umbria	-	0,59	0,53	0,57	-	0,57	-6,06	-1,19
Marche	-	0,80	0,50	0,71	-	3,33	1,76	2,98
Lazio	0,79	0,71	0,53	0,68	-0,48	1,27	3,29	1,14
Abruzzo	-	0,82	0,54	0,64	-	0,42	-2,73	-0,44
Molise	-	0,83	0,63	0,73	-	-0,90	-1,81	-0,38
Campania	0,87	0,67	0,61	0,67	-1,65	1,03	0,97	0,31
Puglia	0,95	0,87	0,83	0,91	-0,28	-1,44	2,46	-0,68
Basilicata	0,85	0,85	0,62	0,75	-1,86	3,83	-2,33	1,34
Calabria	0,90	0,71	0,44	0,61	1,50	3,81	9,36	4,90
Sicilia	0,90	0,87	0,78	0,85	0,06	0,96	6,78	1,99
Sardegna	0,76	0,59	0,46	0,60	-0,95	-10,17	-16,94	-9,47
<b>Italia</b>	<b>0,88</b>	<b>0,71</b>	<b>0,48</b>	<b>0,67</b>	<b>0,94</b>	<b>0,21</b>	<b>2,15</b>	<b>1,62</b>

regionale. Con il 91% della superficie agricola effettivamente utilizzata a fini produttivi, la Puglia si conferma quale regione con la più spiccata infrastrutturazione rurale di tipo produttivo, immediatamente seguita dalla Sicilia (85%), dall'Emilia-Romagna (76%) e via via da tutte le altre regioni fino alla Valle d'Aosta con il suo 37%.

Seguendo la variazione dell'indicatore fra il 1990 ed il 2000, si evince come l'incremento sia stato particolarmente contenuto a livello generale riguardando principalmente le regioni agrarie della collina interna e della montagna. A livello aggregato, tuttavia, le regioni che presentano gli incrementi più consistenti si collocano al nord e, in particolare, sono la Liguria, il Piemonte, il Friuli-Venezia Giulia e la Lombardia.

### 6.6.3 – *Indice di boscosità rurale*

La qualità del paesaggio agrario può essere interpretata a diverse scale di analisi; a livello macro, gli elementi che garantiscono naturalità allo spazio rurale sono principalmente legati alle formazioni forestali relitte, ai filari, alle

siepi, che creano spesso ambienti ecotonali di rilevante interesse floro-faunistico e che mantengono un buon livello di diversificazione del paesaggio agrario.

Sebbene sia estremamente difficoltosa la quantificazione oggettiva di queste formazioni, un indicatore indiretto della qualità del paesaggio agrario può essere rappresentato dall'indice di boscosità rurale (Tabella 6.13). Nel 2000 le aziende agricole che hanno mantenuto superfici forestali sono concentrate prin-

Tabella 6.13 – Indice di boscosità rurale per regione e fascia altimetrica.  
Anno 2000 e differenza percentuale fra il 1990 ed il 2000

Regione	Anno 2000				Differenza percentuale 1990-2000			
	Fascia altimetrica			Totale	Fascia altimetrica			Totale
	Pianura	Collina	Montagna		Pianura	Collina	Montagna	
Piemonte	0,04	0,30	0,60	0,26	-13,56	-22,96	-28,97	-29,81
Valle d'Aosta	-	-	0,62	0,62	-	-	3,21	3,21
Lombardia	0,02	0,20	0,81	0,20	21,90	-21,70	-23,63	-26,53
Trentino-Alto Adige	-	-	1,45	1,45	-	-	4,57	4,57
Veneto	0,01	0,31	1,53	0,24	-42,99	-6,34	-1,96	-5,78
Friuli-Venezia Giulia	0,04	0,29	3,37	0,43	-3,07	-31,16	-0,02	-19,63
Liguria	-	0,96	1,70	1,43	-	-40,23	-29,78	-33,09
Emilia Romagna	0,01	0,27	0,93	0,18	26,51	-6,34	-11,89	-22,15
Toscana	0,31	0,66	1,48	0,75	-8,66	-1,66	7,23	-1,10
Umbria	-	0,58	0,77	0,63	-	-0,64	13,50	2,99
Marche	-	0,12	0,83	0,27	-	-19,06	3,47	-6,29
Lazio	0,15	0,29	0,76	0,36	-0,93	-4,62	-4,81	-3,04
Abruzzo	-	0,07	0,68	0,40	-	-2,60	10,75	4,69
Molise	-	0,12	0,43	0,26	-	-1,75	12,13	3,96
Campania	0,06	0,35	0,51	0,36	-13,41	-4,70	-1,09	-1,82
Puglia	0,02	0,11	0,13	0,06	-6,38	7,26	-14,86	2,33
Basilicata	0,09	0,12	0,46	0,25	1,11	-27,91	5,89	-8,46
Calabria	0,04	0,29	1,13	0,51	-45,49	-15,86	-15,27	-13,50
Sicilia	0,03	0,07	0,18	0,09	-6,98	-13,07	-28,29	-17,92
Sardegna	0,20	0,54	0,93	0,51	-17,48	27,03	40,33	23,18
<b>Italia</b>	<b>0,04</b>	<b>0,30</b>	<b>0,85</b>	<b>0,35</b>	<b>-15,51</b>	<b>-1,57</b>	<b>-3,70</b>	<b>-5,39</b>

cipalmente nelle aree di montagna (circa il 3% della superficie agricola è coperta da boschi) e, più limitatamente, negli ambiti collinari (quasi l'1%), soprattutto quelli più interni. Da notare come nelle regioni agrarie di pianura permangono superfici di una certa consistenza (superiori allo 0,1% della SAU) solo in Toscana ed in Sardegna. A livello aggregato, l'indice di boscosità rurale presenta i valori più elevati nelle regioni settentrionali (con un massimo pari a 4,3% della SAU in Trentino-Alto Adige), mentre nel mezzogiorno si attesta intorno a 0,5%. Le regioni con un indice più basso sono la Sicilia e la Puglia.

Negli ultimi dieci anni si registra un modesto decremento dell'indice a livello nazionale (-5,35%) che, se disaggregato per fascia altimetrica, risulta

principalmente concentrato nelle zone di pianura (-15,51%). Analizzando i dati per regione, si nota che le variazioni negative più consistenti riguardano quelle settentrionali dove si registrano decrementi delle superfici anche del 20-30%. Nel meridione, la contrazione delle superfici boscate presenti nelle aziende agricole riguarda sostanzialmente la Sicilia e la Calabria. In generale, gli ambiti dove si manifestano più significativamente i fenomeni di intensificazione agricola, di meccanizzazione e di specializzazione colturale, sono anche quelli che mostrano un minor grado di mitigazione delle situazioni di degrado per la scarsa presenza di usi del suolo ad elevata qualità vegetazionale e/o paesaggistica.

#### 6.6.4 – *Marginalizzazione delle aziende agricole*

I fenomeni di marginalizzazione, direttamente legati al contesto socio-economico in cui le aziende agricole insistono, sono espressi in maniera eterogenea sul territorio nazionale e sono la conseguenza di cause differenti a seconda della vocazione produttiva del territorio (Tabella 6.14). In generale, la marginalizzazione viene legata alla riduzione delle dimensioni aziendali, sia in termini di reddito che di superficie agricola utilizzata e presenta un'evoluzione complessa,

Tabella 6.14 – Indice di marginalizzazione delle aziende agricole per regione e fascia altimetrica. Anno 2000 e differenza percentuale fra il 1990 ed il 2000

Regione	Anno 2000				Differenza percentuale 1990-2000			
	Fascia altimetrica			Totale	Fascia altimetrica			Totale
	Pianura	Collina	Montagna		Pianura	Collina	Montagna	
Piemonte	0,01	0,08	0,02	0,04	-50,48	-36,63	-48,21	-43,09
Valle d'Aosta	-	-	0,04	0,04	-	-	19,37	19,37
Lombardia	0,01	0,06	0,04	0,02	-42,57	-43,18	-55,60	-49,39
Trentino-Alto Adige	-	-	0,05	0,05	-	-	-5,12	-5,12
Veneto	0,10	0,17	0,07	0,11	-12,13	-7,78	-28,95	-13,23
Friuli-Venezia Giulia	0,06	0,07	0,02	0,06	-31,64	-48,68	-78,76	-40,53
Liguria	-	0,60	0,15	0,32	-	-0,04	-21,11	-5,95
Emilia Romagna	0,03	0,03	0,03	0,03	-26,50	-25,33	-25,79	-26,44
Toscana	0,12	0,06	0,09	0,07	-12,02	10,10	-4,25	2,06
Umbria	-	0,07	0,04	0,06	-	6,78	5,73	8,15
Marche	-	0,05	0,03	0,05	-	-7,10	-23,43	-9,57
Lazio	0,06	0,18	0,13	0,15	-2,27	6,93	-6,49	3,92
Abruzzo	-	0,15	0,04	0,09	-	8,75	-40,22	-5,81
Molise	-	0,06	0,06	0,06	-	9,02	-12,08	-2,95
Campania	0,30	0,26	0,11	0,21	-5,26	1,39	-6,99	-2,68
Puglia	0,18	0,12	0,04	0,15	16,59	18,77	-19,28	17,88
Basilicata	0,07	0,05	0,08	0,06	55,23	21,75	24,97	24,50
Calabria	0,15	0,19	0,17	0,18	26,22	15,67	-5,48	9,79
Sicilia	0,16	0,15	0,09	0,13	16,60	21,31	3,68	16,52
Sardegna	0,07	0,04	0,03	0,04	30,44	34,13	19,62	32,72
<b>Italia</b>	<b>0,08</b>	<b>0,11</b>	<b>0,07</b>	<b>0,09</b>	<b>-5,57</b>	<b>5,63</b>	<b>-11,88</b>	<b>-1,40</b>

derivante dall'azione sinergica di differenti fattori (e.g. demografici, sociali, economici, produttivi, istituzionali).

A livello nazionale, i fenomeni di marginalizzazione sono più evidenti nelle regioni dove il settore primario contribuisce limitatamente alla formazione del valore aggiunto, essendo rappresentato da un'agricoltura povera, che fruisce di investimenti ridotti, spesso esercitata su terreni non totalmente idonei alle pratiche colturali. Si pensi alla Liguria, immediatamente seguita dalle regioni del mezzogiorno, quali Campania, Puglia, Calabria e Sicilia. Come atteso, i fenomeni di marginalizzazione sono maggiormente concentrati nelle zone montuose.

I fenomeni di marginalizzazione avvenuti negli ultimi dieci anni hanno fatto registrare, rispetto al periodo precedente, una lieve regressione (-1.4% a livello medio nazionale), principalmente concentrata nelle aree di montagna (-11.9%). L'indicatore evidenzia chiaramente come alle regioni settentrionali, caratterizzate da una elevata vivacità imprenditoriale (Friuli-Venezia Giulia, Piemonte, Lombardia), si contrappongono quelle centrali, dove il numero delle aziende marginalizzate si mantiene piuttosto stabile e, soprattutto, quelle meridionali, dove questa tipologia aziendale risulta in aumento toccando incrementi massimi in Sardegna, Basilicata, Puglia e Sicilia compresi tra il 16 ed oltre il 30%.

#### 6.6.5 – *Redditività della terra*

La redditività della terra è aumentata omogeneamente su tutto il territorio italiano nel periodo 1990-2000, facendo registrare a livello nazionale un incremento pari a poco meno di 600 eurolire (a prezzi 1995) per ettaro di SAU (Tabella 6.15). Si ricordi, tuttavia, che l'aumento dell'indicatore è dovuto principalmente alla diminuzione generalizzata delle superfici effettivamente destinate alla produzione rilevata al censimento del 2000. Le regioni che presentano un andamento più significativo sono la Liguria (dove si registra un aumento pari a 4.800 eurolire per ettaro di SAU) e, molto più distaccate, la Calabria (+1.280 eurolire) e la Lombardia (+1.110 eurolire). Le regioni con un livello di redditività della terra più elevato sono, tuttavia, concentrate nell'Italia settentrionale (in particolare nel nord-est), mentre la redditività si riduce in media del 30%-40% nelle regioni peninsulari, con l'unica eccezione della Campania. In generale, le regioni centrali ed, in parte, quelle meridionali, presentano anche variazioni di redditività più contenute a livello percentuale fra il 1990 ed il 2000.

Un'analisi più approfondita di questo ed altri indicatori economici, sviluppati a scala territoriale disaggregata (ad esempio a livello comunale, tramite idonee procedure di stima e di *down-scaling*), consentirebbe una migliore comprensione delle relazioni complesse fra fenomeni di degrado e vulnerabilità alla desertificazione e loro impatto sul sistema produttivo agricolo e sulla redditività dei singoli fattori, considerati in un'ottica di sostenibilità del settore primario.

Tabella 6.15 – Redditività della terra per regione ed anno (per migliaia di eurolire a prezzi 1995). *Anni 1990 e 2000*

Regione	1990	2000	Differenza 1990-2000
Piemonte	1,63	1,82	0,19
Valle d'Aosta	0,29	0,55	0,26
Lombardia	2,32	3,42	1,10
Trentino-Alto Adige	1,39	1,71	0,32
Veneto	2,69	3,33	0,64
Friuli-Venezia Giulia	1,88	2,53	0,65
Liguria	5,66	10,45	4,81
Emilia Romagna	2,49	2,89	0,40
Toscana	1,30	1,35	0,05
Umbria	1,20	1,48	0,28
Marche	1,34	1,39	0,05
Lazio	1,61	2,11	0,50
Abruzzo	1,18	1,69	0,51
Molise	0,79	0,96	0,17
Campania	3,36	3,51	0,15
Puglia	1,36	2,26	0,90
Basilicata	0,37	0,90	0,53
Calabria	0,99	2,27	1,28
Sicilia	1,32	2,10	0,78
Sardegna	0,42	0,86	0,44
<b>Italia</b>	<b>1,58</b>	<b>2,17</b>	<b>0,59</b>

#### 6.6.6 – Strategie aziendali

La conduzione aziendale rappresenta uno dei principali descrittori della capacità produttiva dell'azienda e appare legato alle strategie di mercato nonché alla dimensione economica. Dal punto di vista ambientale, un indicatore che analizza il contesto aziendale in cui vengono esercitate le pratiche agricole può essere rappresentato dalla conduzione familiare (Tabella 6.16). In Italia, le superfici destinate alla produzione e gestite a livello familiare sono concentrate principalmente nelle regioni agrarie di collina e di pianura. A livello regionale, nel 2000 la situazione appare estremamente eterogenea, anche se è possibile affermare che in alcune regioni del centro-nord l'incidenza di tali aziende sia piuttosto bassa: si pensi al Trentino-Alto Adige, all'Umbria e all'Abruzzo.

L'evoluzione dell'indicatore negli ultimi dieci anni mostra un andamento più omogeneo con una lieve diminuzione delle superfici condotte con manodopera familiare pari al 2,5% a livello nazionale, concentrato precipuamente nella fascia altimetrica collinare e di pianura.

#### 6.6.7 – Diversificazione dell'attività lavorativa del conduttore

Nella tabella 6.17 riportiamo aggregati per regione e fascia altimetrica le percentuali delle aziende agricole con conduttori che diversificano la propria

Tabella 6.16 – Superficie delle aziende con manodopera familiare (incidenza percentuale sulla SAU) per regione e fascia altimetrica. Anno 2000 e differenza percentuale fra il 1990 ed il 2000

Regione	Anno 2000				Differenza percentuale 1990-2000			
	Fascia altimetrica			Totale	Fascia altimetrica			Totale
	Pianura	Collina	Montagna		Pianura	Collina	Montagna	
Piemonte	0,13	0,18	0,16	0,17	-23,33	-20,97	-20,13	-21,23
Valle d'Aosta	-	-	0,21	0,21	-	-	-5,67	-5,67
Lombardia	0,16	0,18	0,19	0,17	-19,24	-32,68	-33,05	-29,00
Trentino-Alto Adige	-	-	0,32	0,32	-	-	-4,46	-4,46
Veneto	0,23	0,27	0,26	0,24	-19,39	-16,20	-11,54	-17,92
Friuli-Venezia Giulia	0,18	0,19	0,15	0,18	-29,28	-24,45	-26,06	-26,46
Liguria	-	0,17	0,15	0,17	-	-23,65	-26,28	-24,10
Emilia Romagna	0,16	0,20	0,19	0,17	-18,50	-18,76	-16,39	-18,68
Toscana	0,23	0,27	0,22	0,25	-24,25	-19,72	-17,47	-19,38
Umbria	-	0,28	0,23	0,27	-	-21,52	-26,38	-22,14
Marche	-	0,23	0,23	0,23	-	-19,11	-4,94	-17,09
Lazio	0,22	0,30	0,29	0,29	-26,81	-16,64	-14,99	-17,00
Abruzzo	-	0,26	0,21	0,25	-	-4,17	-2,94	-0,93
Molise	-	0,25	0,18	0,22	-	1,25	-2,45	2,00
Campania	0,22	0,26	0,24	0,25	10,08	0,99	-4,24	1,70
Puglia	0,30	0,30	0,32	0,30	-11,70	-12,85	1,22	-12,08
Basilicata	0,31	0,29	0,29	0,29	8,82	-3,93	2,81	0,67
Calabria	0,30	0,32	0,30	0,31	-16,35	3,01	-2,07	-0,89
Sicilia	0,27	0,28	0,29	0,28	-11,59	-9,81	-0,01	-8,36
Sardegna	0,25	0,24	0,18	0,24	-16,17	-7,97	-6,21	-10,47
<b>Italia</b>	<b>0,24</b>	<b>0,27</b>	<b>0,26</b>	<b>0,26</b>	<b>-12,49</b>	<b>-10,16</b>	<b>-5,24</b>	<b>-9,70</b>

attività attraverso la partecipazione ad altre attività lavorative a tempo parziale. Si evidenzia come la percentuale più elevata venga raggiunta nella fascia altimetrica collinare e più in generale nelle regioni del centro-sud. Ciò assume come significato la necessità da parte di questi attori di integrare il proprio reddito con altre fonti di guadagno. Per contro, la quota di conduttori che esercitano la loro attività in maniera prevalentemente esclusiva nella propria azienda agricola si registra nelle regioni pianeggianti, soprattutto in quelle settentrionali dove si concentra l'agricoltura intensiva ad elevata redditività ma anche a più forte impatto agro-ambientale. Si noti inoltre come diminuiscano nell'ultimo decennio i conduttori che diversificano le proprie attività lavorative in tutto il territorio nazionale ed in particolare nelle regioni del centro-nord.

#### 6.6.8 – Diversificazione delle colture

L'indicatore sulla diversificazione delle colture evidenzia un *pattern* geografico ben definito, con le regioni settentrionali che esprimono una diversifica-

Tabella 6.17 – Indice di diversificazione dell'attività lavorativa del conduttore per regione e fascia altimetrica. Anno 2000 e differenza percentuale fra il 1990 ed il 2000

Regione	Anno 2000				Differenza percentuale 1990-2000			
	Fascia altimetrica			Totale	Fascia altimetrica			Totale
	Pianura	Collina	Montagna		Pianura	Collina	Montagna	
Piemonte	12,4	17,6	13,0	15,1	-4,5	-4,5	-2,1	-3,8
Valle d'Aosta	-	-	19,8	19,8	-	-	-1,9	-1,9
Lombardia	14,3	16,9	15,3	15,1	-3,1	-4,0	-7,9	-4,8
Trentino-Alto Adige	-	-	32,1	32,1	-	-	-0,1	-0,1
Veneto	21,5	26,1	24,7	23,1	-4,4	-4,9	0,2	-3,6
Friuli-Venezia Giulia	17,0	17,5	14,6	16,5	-8,1	-5,0	-3,1	-6,1
Liguria	-	16,0	12,7	14,4	-	-6,3	-7,1	-6,7
Emilia Romagna	15,8	20,2	19,2	17,9	-3,2	-5,3	-5,1	-4,2
Toscana	23,6	26,6	21,5	24,9	-6,6	-6,8	-4,7	-6,2
Umbria	-	28,5	23,0	27,1	-	-7,2	-4,0	-6,3
Marche	-	22,0	18,1	21,3	-	-5,1	-4,7	-5,1
Lazio	17,9	28,7	23,8	26,7	-11,6	-5,7	-4,6	-5,6
Abruzzo	-	25,2	17,8	21,2	-	-1,5	-1,1	-1,3
Molise	-	22,6	16,0	18,5	-	-0,1	0,2	0,1
Campania	18,5	25,7	23,3	23,7	-0,8	-0,3	-1,7	-0,7
Puglia	29,8	28,2	34,0	29,5	-4,4	-2,3	-3,9	-3,8
Basilicata	30,0	28,1	27,7	28,0	4,1	-1,0	0,9	0,4
Calabria	29,4	29,7	27,7	28,9	-6,5	0,1	-0,9	-0,6
Sicilia	26,6	27,5	28,0	27,6	-4,1	-2,4	-0,1	-2,0
Sardegna	21,6	22,1	16,5	21,5	-4,1	-0,9	-1,4	-1,6
<b>Italia</b>	<b>17,8</b>	<b>23,1</b>	<b>20,6</b>	<b>20,9</b>	<b>-3,9</b>	<b>-3,4</b>	<b>-3,0</b>	<b>-3,4</b>

zione colturale sistematicamente più bassa rispetto alle regioni peninsulari, probabilmente dovuta alla maggiore intensificazione produttiva e alla diffusione della monocoltura (Tabella 6.18). Il gradiente altitudinale mette ulteriormente in evidenza una maggiore diversificazione misurata nelle aree collinari. Gli ambiti a maggiore diversità sono rappresentati dalle regioni centrali, soprattutto Umbria, Marche e Toscana, dove il paesaggio agrario appare variato e mostra caratteri di spiccata eterogeneità. In parte, questa tendenza è visibile anche nel Mezzogiorno.

Nell'ultimo decennio la perdita di diversità nel paesaggio agrario è evidente soprattutto negli ambiti di pianura e collinari e, dal punto di vista geografico, nelle regioni meridionali. Nella fascia altimetrica di montagna si rileva, principalmente nelle regioni centro-settentrionali un incremento della diversificazione colturale, che contrasta con la generalizzata riduzione osservata nel Mezzogiorno.



Tabella 6.18 – Indice di diversificazione del paesaggio agrario per regione e fascia altimetrica (valori normalizzati per le classi di uso del suolo tramite la formula dell'equiripartizione). Anno 2000 e differenza percentuale fra il 1990 ed il 2000

Regione	Anno 2000				Differenza percentuale 1990-2000			
	Fascia altimetrica			Totale	Fascia altimetrica			Totale
	Pianura	Collina	Montagna		Pianura	Collina	Montagna	
Piemonte	0,34	0,52	0,12	0,37	-9,59	-2,95	64,02	-0,72
Valle d'Aosta	-	-	0,08	0,08	-	-	41,26	41,26
Lombardia	0,33	0,41	0,11	0,28	-3,42	-0,04	31,30	0,87
Trentino-Alto Adige	-	-	0,12	0,12	-	-	-2,95	-2,95
Veneto	0,46	0,55	0,10	0,40	-15,04	-0,88	17,03	-10,26
Friuli-Venezia Giulia	0,47	0,42	0,07	0,35	-10,06	-3,39	74,96	-5,90
Liguria	-	0,36	0,20	0,29	-	-0,28	52,58	12,65
Emilia Romagna	0,65	0,64	0,33	0,58	3,48	5,25	6,65	4,44
Toscana	0,66	0,60	0,34	0,53	-3,83	-2,53	6,14	-1,22
Umbria	-	0,66	0,40	0,59	-	0,05	-7,99	-1,48
Marche	-	0,64	0,42	0,60	-	-2,73	3,35	-1,99
Lazio	0,66	0,62	0,36	0,54	-5,92	-3,96	-7,38	-4,71
Abruzzo	-	0,68	0,40	0,53	-	-4,51	-7,22	-5,65
Molise	-	0,58	0,49	0,53	-	-3,83	-10,30	-7,68
Campania	0,50	0,59	0,50	0,55	4,01	-3,11	-1,32	-1,54
Puglia	0,48	0,50	0,48	0,48	-11,32	-10,05	-3,03	-10,73
Basilicata	0,75	0,53	0,53	0,54	2,63	-3,36	-3,00	-2,78
Calabria	0,54	0,60	0,48	0,55	-4,45	-6,22	-3,12	-5,14
Sicilia	0,52	0,56	0,59	0,56	-5,06	-0,72	-3,95	-1,99
Sardegna	0,65	0,53	0,30	0,53	-4,54	-5,37	-11,28	-5,52
<b>Italia</b>	<b>0,43</b>	<b>0,55</b>	<b>0,25</b>	<b>0,42</b>	<b>-6,42</b>	<b>-2,84</b>	<b>3,45</b>	<b>-2,70</b>



## CAPITOLO 7

### CLASSIFICAZIONE DEL TERRITORIO NAZIONALE IN BASE ALLA VULNERABILITÀ ALLA DESERTIFICAZIONE

*Dubium sapientiae initium*  
(Il dubbio è l'inizio del sapere)

CARTESIO

Al fine di giungere ad una stima condivisa ed oggettiva della vulnerabilità al degrado delle terre e alla desertificazione del territorio italiano, sono stati adottati e messi a confronto due diversi indici, già introdotti nei precedenti capitoli: ESAI e LVI. Il primo deriva dall'applicazione di una metodologia standard (ESA/MEDALUS) e rappresenta un importante riferimento a livello nazionale (Ceccarelli *et al.* 2006) ed internazionale (Brandt 2005), condiviso sia a livello scientifico che in sede tecnica ed istituzionale. Il secondo indice deriva, invece, da un approccio alla complessa problematica della vulnerabilità del territorio, teso a fornire un contributo suppletivo, quanto originale, all'approfondimento delle conoscenze e, se possibile, al superamento di alcuni limiti insiti nella stessa metodologia ESA/MEDALUS, peraltro già evidenziati in specifici contributi (Basso *et al.* 2000). La definizione di entrambi gli indici si avvale di un certo numero di indicatori elementari attraverso cui, in maniera più o meno diretta, è possibile determinare le pressioni di varia origine che gravano sull'ecosistema e che sono causa dei processi di degrado delle terre. L'indice LVI, in particolare, derivando da una procedura di aggregazione degli indicatori che attribuisce oggettivamente un peso a ciascuna variabile considerata, è in grado di esprimere una valutazione quantitativa del fenomeno attribuendo differente importanza ai fenomeni che caratterizzano il processo di degrado.

Gli indici ESAI e LVI, relativamente ai due periodi presi in esame, il 1990 ed il 2000, sono stati utilizzati per classificare il territorio nazionale in funzione della vulnerabilità ai processi di degrado (vedere le mappe cartacee in formato poster allegate al presente volume): la scala cromatica prescelta, dal verde scuro fino al rosso, corrisponde a valori crescenti degli indici e, quindi, ad una maggiore predisposizione delle aree interessate ai processi di desertificazione.

#### 7.1 L'INDICE ESAI

L'indice ESAI, calcolato su tutto il territorio nazionale e per entrambe le serie storiche di riferimento, utilizza una classificazione territoriale basata su di

un intervallo di valori compreso fra 1 e 2. I risultati delle elaborazioni effettuate, sintetizzati a livello nazionale, sono mostrati nella Tabella 7.1.

Tabella 7.1 – Statistiche aggregate a livello nazionale

Valori dell'indice ESAI	periodi	
	1990	2000
Minimo	1.037	1.037
Massimo	1.758	1.784
Medio	1.358	1.365
Deviazione standard	0.113	0.111

Dalla tabella si evidenzia, per il 1990, un valore medio di ESAI pari a 1.358 che, nel 2000, è leggermente aumentato attestandosi a 1.365. Anche i valori massimi sono aumentati nel periodo più recente, mentre i valori minimi e la deviazione standard sono rimasti sostanzialmente stabili. Nel complesso, quindi, l'indice ESAI delinea una tendenza evolutiva verso condizioni di maggiore vulnerabilità che viene confermata dall'esame analitico dei risultati. A tale scopo e anche al fine di operare una più funzionale classificazione del territorio, è stata esaminata, sempre a livello dell'intero dominio spaziale Italia, la distribuzione delle frequenze dell'indice (Figura 7.1).

L'istogramma denota una certa approssimazione alla distribuzione normale, il che ha consentito di adottare una suddivisione in categorie omogenea e simmetrica, utile, fra l'altro, per contenere il numero delle classi ed ottenere

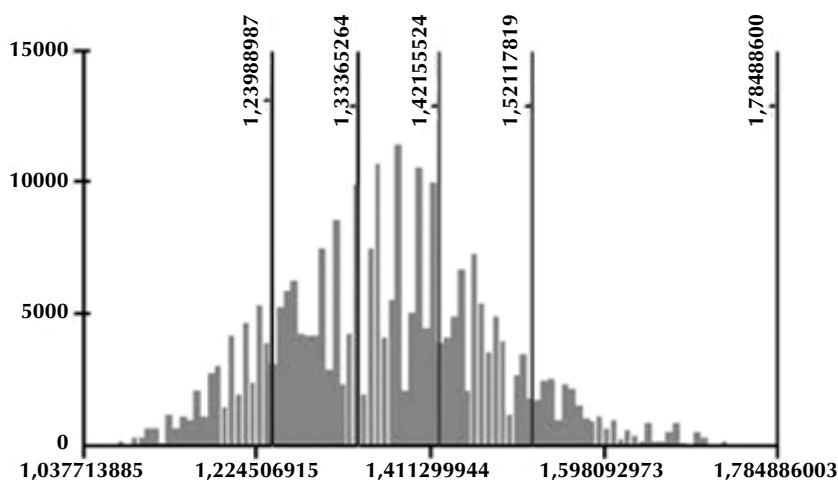


Figura 7.1 – Distribuzione di frequenza dell'indice ESAI per il dominio geografico Italia (Anno 2000)

una più efficace e significativa rappresentazione cartografica, anche in accordo con la letteratura internazionale (Brandt 2005).

A partire dalle classi così individuate, sono state computate, mediante appositi strumenti GIS, le superfici regionali afferenti ciascuna classe di vulnerabilità relativamente ai periodi 1990 e 2000. Nella Tabella 7.2 sono riportate le statistiche regionali espresse in ettari e in valore percentuale e la corrispondente variazione temporale intervenuta dal 1990 al 2000. Dall'analisi della tabella emerge, con sufficiente evidenza, un aspetto che accomuna la gran parte delle regioni italiane, ovvero la contrazione delle superfici territoriali ricadenti nelle prime tre classi e lo speculare aumento di quelle classificate nella quarta e quinta classe. Questo risultato evidenzia un peggioramento delle condizioni di vulnerabilità generalizzato ed esteso all'intero territorio nazionale. Considerando l'implicito decadimento della qualità ambientale connesso al passaggio da una classe ESAI inferiore a quella superiore, si può desumere, con un alto grado di probabilità, che la pressione sugli ecosistemi italiani è complessivamente aumentata e che in molte aree, un tempo classificate poco e mediamente vulnerabili, i processi di degrado delle terre sono divenuti o rischiano di diventare, molto più incisivi. Sulla base della percentuale di superficie territoriale afferente alla quarta e quinta classe ESAI (secondo i dati riferiti al 2000), la classifica delle regioni italiane vede, nell'ordine, la Sicilia con circa il 70% della superficie regionale interessata da un grado medio-alto di vulnerabilità ambientale, il Molise (58%), la Puglia (57%) e la Basilicata (55%). Sei Regioni (Sardegna, Marche, Emilia Romagna, Umbria, Abruzzo e Campania) presentano un'analoga percentuale di territorio compresa fra il 30 ed il 50%, per altre sette Regioni (Calabria, Toscana, Friuli Venezia Giulia, Lazio, Lombardia, Veneto e Piemonte) tale superficie territoriale si pone fra il 10 ed il 25%, mentre in tre Regioni (Liguria, Valle d'Aosta e Trentino Alto Adige) le percentuali sono abbastanza contenute e comprese fra il 2 ed il 6%.

Alcune aree del territorio sono state classificate "non valutate" in quanto comprendono superfici che, per loro natura, non vengono considerate tra quelle soggette ai processi di degrado (es. corpi idrici, affioramenti rocciosi di notevoli dimensioni). In questa categoria sono comprese, inoltre, le aree in cui, per mancanza di uno o più dei *data set* richiesti, non è stato possibile effettuare la valutazione.

## 7.2 L'INDICE LVI

L'indice LVI, calcolato su tutto il dominio spaziale e per entrambe le serie storiche di riferimento, varia per definizione tra 0 ed 1. Il valore assunto deriva, secondo i criteri adottati, dalla somma dei punteggi medi pesati ottenuti da ciascun indicatore considerato. I valori più bassi indicano vulnerabilità bassa o

Tabella 7.2 – Superfici regionali classificate tramite indice

<b>ESAI. Sintesi regionale e nazionale</b>									
<b>Superficie territoriale (in ettari, in valore % e variazione % rispetto al 1990) afferente</b>									
Regioni	≤ 1.2			1.2 – 1.3			1.3 – 1.4		
	Superficie		Variaz.	Superficie		Variaz.	Superficie		Variaz.
	ha	%		ha	%		ha	%	
Piemonte	297,500	11.7	-1.0	555,100	21.9	0,4	768,000	30.2	0,3
Valle d'Aosta	60,100	18.4	-3.2	80,000	24.6	0.0	40,700	12.5	1.9
Lombardia	179,100	7.7	-1.0	354,300	14.8	0.1	652,800	27.4	0.4
Trentino Alto-Adige	344,000	25.3	-2.9	438,400	32.2	1.5	165,300	12.1	0.9
Veneto	93,800	5.1	-0.3	118,700	6.4	0.0	662,800	36.0	-0.2
Friuli Venezia Giulia	84,500	10.8	-0.5	107,600	13.7	0.3	165,500	21.1	-0.3
Liguria	79,900	14.8	-2.9	189,700	35.1	1.6	93,400	17.3	0.7
Emilia Romagna	41,300	1.9	-0.3	415,800	18.8	0.6	731,300	33.1	-2.1
Toscana	90,100	3.9	-0.7	793,300	34.5	-0.5	751,200	32.7	-0.9
Umbria	33,200	3.9	-1.7	240,800	28.4	-1.9	224,500	26.5	-0.9
Marche	31,500	3.2	-1.5	182,500	18.8	-1.0	295,500	30.4	-1.1
Lazio	155,000	9.0	-1.3	415,300	24.1	-0.1	607,800	35.3	-1.1
Abruzzo	54,900	5.1	-1.5	332,200	30.7	-0.9	300,200	27.7	0.4
Molise	10,800	2.4	-1.9	79,000	17.7	-1.3	90,400	20.3	-2.6
Campania	103,200	7.6	-2.9	356,600	26.1	-2.5	399,200	20,2	1.6
Puglia	11,000	0.6	-0.2	359,200	18.4	-0.1	349,700	17.9	-2.9
Basilicata	21,200	2.1	-1.1	188,600	18.7	-1.2	213,000	21.2	-0.7
Calabria	161,900	10.6	10.6	499,400	32.8	-0.8	409,100	26.9	0.1
Sicilia	12,200	0.5	0.5	94,600	3.7	-0.9	449,100	17.4	-0.3
Sardegna	200	0.0	0.0	166,500	6.9	-1.8	713,100	29.6	0.4
<b>ITALIA</b>	<b>1,865,400</b>	<b>6.2</b>	<b>-1.0</b>	<b>5,967,600</b>	<b>19.8</b>	<b>-0,4</b>	<b>8,082,600</b>	<b>26.8</b>	<b>-0.4</b>

ESAI per l'anno di riferimento 2000 e variazioni rispetto al 1990

**zionale. Anno di riferimento: 2000**  
**ciascuna classe di vulnerabilità ai processi di degrado delle terre e alla desertificazione**

1.4 – 1.5			> 1.5			Aree non valutate		Totale
Superficie		Variaz.	Superficie		Variaz.	Superficie		ha
ha	%	%	ha	%	%	ha	%	
300,500	11.8	0.0	46,000	1.8	0.0	572,647	22.5	2,539,747
9,200	2.8	1.1	0	0.0	0.0	135,841	41.7	325,851
428,900	18.0	0.2	6,000	0.3	0.1	765,259	32.1	2,386,359
28,400	2.1	0.4	800	0.1	0.0	383,795	28.2	1,360,695
275,700	15.0	0.1	3,200	0.2	0.1	688,019	37.3	1,842,219
171,600	21.8	-0.4	5,200	0.7	0.5	251,541	32.0	785,941
25,500	4.7	0.3	7,100	1.3	0.4	145,334	26.9	540,934
734,800	33.2	1.0	105,800	4.8	0.2	183,095	8.3	2,212,095
402,200	17.5	0.9	129,300	6.6	0.7	132,814	5.8	2,298,914
226,500	26.8	2.8	74,100	8.8	1.5	47,370	5.6	846,470
305,500	31.4	2.5	110,100	11.3	1.3	47,576	4.9	972,676
309,200	18.0	1.8	72,600	4.2	0.4	162,593	9.4	1,722,493
265,100	24.5	1.0	68,500	6.3	0.5	61,977	5.7	1,082,877
144,000	32.3	-6.8	113,100	25.4	12.7	8,610	1.9	445,910
300,000	22.0	2.4	105,200	7.7	1.2	102,417	7.5	1,366,617
804,800	41.2	2.1	301,800	15.4	0.9	127,075	6.5	1,53,575
313,800	31.2	-2.7	244,000	24.2	5.4	26,473	2.6	1,007,073
284,500	18.7	1.2	94,300	6.2	0.6	72,717	4.8	1,521,917
696,500	27.0	0.9	1,108,200	42.9	0.5	221,796	8.6	2,582,396
727,200	30.2	0.9	460,400	19.1	0.2	340,011	14.1	2,407,411
<b>6,753,900</b>	<b>22,4</b>	<b>0.7</b>	<b>3,055,700</b>	<b>10.1</b>	<b>0.8</b>	<b>4,476,959</b>	<b>14.8</b>	<b>30,202,159</b>

trascurabile, i valori più elevati segnalano un livello di vulnerabilità critico. A livello nazionale i valori dell'indice LVI possono essere sintetizzati come mostrato nella Tabella 7.3.

Tabella 7.3 – Indice LVI. Statistiche aggregate a livello nazionale

Valori dell'indice	periodi	
	1990	2000
Minimo	0.098	0.119
Massimo	0.583	0.569
Medio	0.277	0.294
Deviazione standard	0.068	0.069

I valori dell'indice LVI riferiti al 2000 evidenziano, nel raffronto con quelli del periodo precedente, una variazione positiva nei valori minimo e medio, negativa, invece, per quanto riguarda il valore massimo. Nel complesso, anche l'indice LVI esprime una chiara tendenza peggiorativa delle condizioni ambientali e, quindi, una maggiore vulnerabilità del territorio italiano ai processi di degrado delle terre. La distribuzione delle frequenze associate all'indice (Figura 7.2) mostra una certa asimmetria dovuta ad una inclinazione positiva osservabile per valori inferiori a 0.35.

Utilizzando le specifiche funzionalità GIS, è stata calcolata, per entrambi i periodi considerati, la media dei punteggi LVI per tutte le regioni italiane. I risultati, mostrati nella Tabella 7.4, tratteggiano un quadro nazionale molto

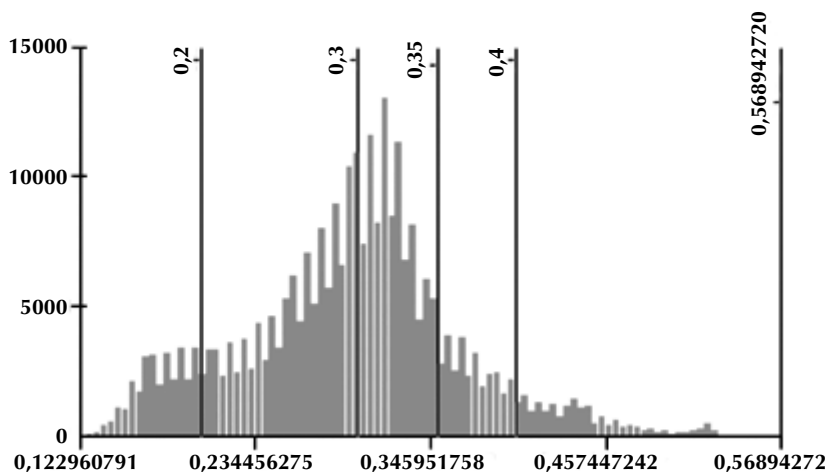


Figura 7.2 – Distribuzione di frequenza dell'indice LVI per il dominio geografico Italia (Anno 2000)



eterogeneo, dove si riconoscono contesti ad elevata vulnerabilità al degrado delle terre ed ambiti territoriali che ne sono quasi del tutto indenni.

Tabella 7.4 – Indice LVI. Media e variazione percentuale calcolate a livello regionale per i due periodi di studio

	1990	2000	Var (%)
Piemonte	0.26	0.26	2.6%
Valle d'Aosta	0.18	0.19	4.9%
Lombardia	0.27	0.27	2.3%
Trentino Alto Adige	0.16	0.18	10.5%
Veneto	0.29	0.30	3.7%
Friuli Venezia Giulia	0.24	0.25	4.9%
Liguria	0.23	0.26	9.9%
Emilia Romagna	0.30	0.31	3.0%
Toscana	0.28	0.29	4.5%
Umbria	0.26	0.28	6.0%
Marche	0.28	0.30	7.1%
Lazio	0.28	0.30	4.1%
Abruzzo	0.24	0.26	5.4%
Molise	0.28	0.28	4.1%
Campania	0.27	0.29	5.9%
Puglia	0.32	0.35	8.3%
Basilicata	0.27	0.29	7.7%
Calabria	0.27	0.30	8.2%
Sicilia	0.33	0.36	9.1%
Sardegna	0.29	0.32	12.2%

L'indice LVI può essere quindi interpretato, in questa elaborazione, come un punteggio di vulnerabilità basato sull'integrazione di indicatori geo-fisici e socio-economici. Tale punteggio, letto in termini ordinali, consente un confronto a livello di macro-aree (e.g. regioni, province, comuni) rispetto al livello complessivo di vulnerabilità ambientale.

Come già osservato in altre parti del testo, pur considerando come i due indici proposti producano informazioni aggregate fra loro diverse (vedi anche Ceccarelli *et al.* 2006 per una discussione più ampia), si osservano risultati, nella maggior parte dei casi, comparabili. Si confermano ai primi posti, quali regioni considerate più vulnerabili, la Sicilia, la Puglia e la Sardegna. La classifica delle posizioni successive vede, nell'ordine, l'Emilia-Romagna, il Lazio, la Calabria, le Marche, il Veneto. Le altre regioni, comunque, a esclusione della Valle d'Aosta e del Trentino Alto Adige, presentano punteggi solo moderatamente inferiori a quelli delle regioni più vulnerabili.

Le differenze fra i due periodi analizzati (1990 e 2000), interpretabili nel senso di una evoluzione temporale dei fenomeni in esame, evidenziano e confermano il complessivo peggioramento della qualità ambientale degli anni più recenti. Da tutto ciò si può evincere che, in conseguenza di una probabile

maggior pressione sugli ecosistemi, diverse aree del territorio nazionale, caratterizzate in precedenza da un più basso punteggio, nel 2000 hanno ottenuto valori più elevati di LVI. Ciò è particolarmente evidente per la Sardegna, seguita dal Trentino Alto-Adige.

La lettura integrata dei punteggi di vulnerabilità all'inizio del periodo di studio e della loro evoluzione nel tempo, consente, pertanto, di stilare un quadro dinamico delle condizioni ambientali di contesto che determinano, a livello locale e/o regionale, un più alto livello di vulnerabilità e, pertanto, un rischio più elevato di desertificazione.

Dall'analisi della cartografia ottenuta con gli indici ESAI e LVI (si rimanda alle mappe cartacee, in formato poster, allegate alla pubblicazione) è possibile ricavare ulteriori osservazioni sulla diffusione/concentrazione delle aree con maggiori problematiche di vulnerabilità ambientale. Le suddette aree, evidenziate dai colori arancione e rosso cupo (corrispondenti, secondo la *palette* di colori adottata, alle ultime due classi di entrambi gli indici), risultano prevalentemente ammassate lungo le fasce costiere e in quelle di pianura dove, a condizioni abitative relativamente più favorevoli, corrisponde una maggiore concentrazione di attività economico/produttive e un più alto tasso demografico. Quasi a sottolineare tale associazione, si osserva in molti casi una coincidente sovrapposizione delle aree urbanizzate (in rosso brillante) che rappresentano già di per sé condizioni di sterilità dovuta a sigillamento dei suoli.

Un grado di elevata vulnerabilità, tuttavia, si può riconoscere anche in ambiti territoriali dove prevalgono effetti di altro genere dovuti, ad esempio, a condizioni meteo-climatiche sfavorevoli e/o a caratteristiche geomorfologiche problematiche (terreni calanchivi, terreni a scarsa copertura vegetale, terreni fortemente declivi, etc.). Tali situazioni, spesso associate ad uno sfruttamento agricolo inappropriato, si possono individuare principalmente al sud della penisola e nelle isole maggiori.

Come atteso, condizioni di bassa vulnerabilità si riscontrano in genere nell'entroterra, soprattutto nella fascia altimetrica di montagna, dove gli ecosistemi risultano meno compromessi dalla presenza umana e, per il momento, più al riparo dai cambiamenti climatici.

## CAPITOLO 8

### CONCLUSIONI

*Corruptio optimi pessima*

*(Persino ciò che è ottimo, se corrotto, diventa pessimo)*

S. GREGORIO MAGNO

Il territorio italiano, a seconda delle pressioni cui è sottoposto e del grado di resilienza che lo caratterizza, presenta un insieme piuttosto eterogeneo di condizioni di vulnerabilità ai processi di degrado delle terre. Le maggiori criticità sono riconoscibili principalmente nel Meridione dove si manifestano, in linea di massima, condizioni climatiche relativamente più aggressive rispetto al resto del territorio nazionale. Le valutazioni effettuate, infatti, restituiscono una graduatoria di vulnerabilità del territorio italiano che ricalca grossomodo un ordinamento di tipo geografico. La classifica elaborata per regioni (riferendoci ai risultati dell'indice ESAI) vede agli opposti estremi la Sicilia ed il Trentino Alto Adige, con superfici vulnerabili di gran lunga superiori al 50% nel primo caso, di trascurabile entità nel secondo caso. Fra i due antipodi si collocano tutte le altre regioni fra cui risaltano, per l'ampia estensione di aree vulnerabili, il Molise, la Puglia, la Basilicata e la Sardegna. Per il resto è possibile discriminare ambiti territoriali a media vulnerabilità, localizzati sia nell'Italia centrale (e.g., Maremma toscano-laziale) sia nell'Italia settentrionale (e.g., pianura Veneta). Nel complesso, quasi 10 milioni di ettari, pari a circa il 33% del territorio nazionale, risultano vulnerabili, seppure a livelli diversi, ai processi di degrado delle terre.

La valutazione effettuata prendendo in considerazione due periodi diversi (1990 e 2000), ha consentito di individuare anche una dimensione temporale dei fenomeni di degrado delle terre che appare chiaramente in quasi tutte le regioni italiane e si traduce in una tendenza verso il progressivo aggravarsi delle condizioni ambientali predisponenti ai citati processi di degrado. Tale peggioramento, più evidente nelle aree costiere, può essere attribuito all'andamento del clima (diminuzione delle precipitazioni e aumento generalizzato delle temperature), responsabile dell'espansione delle aree aride e semi-aride (cfr Salvati *et al.* 2005), ma anche all'aumento della pressione antropica, nonché al *landscape change* (inteso soprattutto come sigillamento dei suoli) accompagnato da processi di intensificazione agricola e salinizzazione.

Negli ultimi decenni si è verificato un profondo cambiamento nei rapporti fra uomo e ambiente, grazie allo sviluppo economico e all'affermarsi di nuovi modelli di consumo. Il settore agricolo è coinvolto in questo processo, pur con

caratteristiche che lo distinguono dalle altre attività produttive (e.g., ISTAT 2003). All'estendersi dei problemi legati all'impatto ambientale si è contrapposta un'evoluzione culturale più sensibile alle ricadute sul territorio delle scelte operate dall'uomo. Di tale sensibilità non è priva anche una parte del mondo rurale, più prudente di un tempo nell'utilizzo di pratiche agronomiche e di allevamento a forte pressione ambientale e maggiormente propensa a conservare e custodire le risorse paesaggistiche. La graduale scomparsa dei paesaggi tradizionali, l'uso intensivo delle risorse naturali nelle aree fertili e la tendenza all'abbandono delle terre agricole dove viene meno la convenienza economica sono riflessi evidenti dei cambiamenti in atto nelle delicate interazioni fra attività agricola e ambiente.

Un sistema informativo in grado di valutare gli ambiti locali maggiormente sensibili ai fenomeni di *land degradation* e che individua le variabili predisponenti, esprimendo anche – in forma il più possibile oggettiva – una stima della loro importanza nei fenomeni ambientali in cui sono coinvolte, può rappresentare uno strumento utile ad indirizzare le strategie politiche verso misure atte al perseguimento di uno sviluppo economico e sociale più sostenibile rispetto allo stato ambientale (Brandt *et al.* 2003).

Partendo da tali considerazioni, è stato pertanto sviluppato un sistema informativo, di aiuto alle decisioni, utilizzando un set di indicatori tematici in grado di rappresentare, a scala geografica sufficientemente dettagliata, i principali fattori economici, sociali e geo-fisici di pressione sull'ambiente, considerati come predisponenti i processi di desertificazione. La sensibilità del territorio è stata valutata attraverso lo schema DPSIR e mediante indicatori di immediata formulazione empirica e ricavati da statistiche ufficiali facilmente accessibili; essi si adattano a contesti di ricerca differenti, sia per analisi diacroniche che per valutazioni sincroniche a scala geografica di maggiore dettaglio. Gli indicatori proposti possono, quindi, integrarsi con altre informazioni quantitative prodotte a scala locale (e.g., climatici, pedologici, vegetazionali, fisici) già in uso nella cartografia tematica per la stima dei rischi ambientali. L'approccio metodologico adottato consente di valutare il grado di vulnerabilità alla desertificazione modulato secondo una scala crescente di valori che favorisce una interpretazione intuitiva della cartografia prodotta. L'applicazione a scala europea e nazionale della metodologia qui adottata, che ormai rappresenta uno standard consolidato, ne fa uno strumento di studio consolidato ed il risultato può integrarsi con studi simili realizzati in altre aree del bacino del Mediterraneo. La possibilità di lettura a diverse scale lo rendono strumento di lavoro operativo ed i risultati possono integrarsi con studi simili realizzati in altre aree del bacino del Mediterraneo. In questo campo, tuttavia, permane un punto critico dei modelli citati, ovvero quello dell'attribuzione di indici e pesi che potrebbero essere di volta in volta criticati e discussi (e.g., Brandt *et al.* 2003).

La complessità delle grandezze trattate e la loro necessaria indicizzazione portano nella letteratura recente ed hanno portato, anche in questa sede, ad alcune assunzioni ed astrazioni metodologiche, che sono però riscontrabili in modelli dello stesso tipo. Tuttavia, il valore degli indici e l'impianto stesso del sistema di indicatori può essere considerato *a priori* come una proposta metodologica congrua con le esperienze della procedura ESA. Riteniamo necessario un ulteriore approfondimento relativamente alla possibilità di utilizzare analisi statistiche multivariate per esplorare le relazioni fra variabili e per costruire indicatori complessi, verificando anche implicitamente le assunzioni ed i risultati scaturiti dal modello ESA. Con questo lavoro si tende a dare una prima risposta anche a questi interrogativi, fornendo una valutazione quantitativa del fenomeno originale a partire da criteri di calcolo oggettivi, messa comunque a confronto con la metodologia ESA standard, al fine di garantire la comparabilità nazionale ed internazionale dei risultati ottenuti.

Abbiamo già affermato che l'individuazione di un sistema di indicatori per la stima dell'impatto della desertificazione, nelle sue varie dimensioni, sugli ecosistemi è cruciale nella corretta valutazione della predisposizione di un dato territorio agli eventi di siccità ed ai processi di *land degradation*. Ciò è ancora più significativo in ecosistemi complessi quali gli agro-ecosistemi mediterranei, dove la comprensione delle millenarie interazioni fra elementi geo-fisici e sociali è indispensabile per evidenziare le aree effettivamente a rischio.

Deve essere sottolineata, la difficoltà tecnica di integrare in un'unica valutazione quantitativa le variabili ecologiche con quelle socio-economiche. I fenomeni sociali, demografici ed economici sono difficili da valutare con le stesse metodologie in uso per i processi geo-fisici, anche perchè spesso i dati relativi sono disponibili a scale geografiche non sufficientemente dettagliate ed integrabili (Enne & Zucca 2000). Sebbene poche ricerche abbiano tentato di porre in connessione logica fenomeni geo-fisici e sociali quantificando numericamente questi ultimi (e.g., Rubio & Bochet 1998), riteniamo che ulteriori approfondimenti sugli indicatori sociali in grado di classificare la predisposizione di un territorio a fenomeni complessi e multidimensionali quali la desertificazione siano indispensabili. Questo lavoro rappresenta, fra l'altro, un primo tentativo in questa direzione.

In particolare, abbiamo individuato nella facilità di reperimento, nonché nella disponibilità di informazioni a scala spaziale dettagliata e per un periodo storico sufficientemente lungo, le caratteristiche più significative per tali indicatori. Considerare un ampio numero di variabili, esplorando dimensioni differenti dell'agricoltura, dell'inquinamento del suolo e delle acque (carichi antropici) e dell'urbanizzazione (soil sealing) porterà un contributo significativo all'informazione geografica sul rischio di desertificazione, indicando, attraverso un approccio multitemporale, possibili *trend* nei processi di degrado del territorio, dal momento che la pressione antropica agisce in genere più rapidamente

dei cambiamenti nel clima, nella composizione dei suoli e nelle caratteristiche della vegetazione.

Fornire informazioni spaziali sulla velocità dei processi di degrado e sulle cause di origine antropica rappresenta, in definitiva, uno strumento effettivo, anche a livello politico, per indirizzare con più efficacia gli interventi di mitigazione dei fenomeni di desertificazione nei territori vulnerabili.

## BIBLIOGRAFIA

- A.A.V.V. (1999) *Azioni italiane a sostegno della convenzione delle Nazioni Unite per combattere la desertificazione*. Ministero dell'Ambiente, UNCCD, Roma.
- AMBIENTE ITALIA (2003) *100 Indicatori sullo stato del paese – Il mondo tra clima che cambia e povertà*. Edizioni Ambiente, Milano.
- ANPA (2001) *Atlante degli indicatori del suolo*. RTI CTN\_SSC 3.
- APAT (2004) *Annuario dei dati ambientali*. Roma.
- ARLERY R., GRISOLLET H., GUILMET B. (1973) *Climatologie. Methodes et pratiques*. Edit. Gauthier-Villars, Paris, pp. 1-434.
- ARPA CAL (2005) *Carta delle aree sensibili alla desertificazione in Calabria* (Progetto DesertNet).
- BASSO F., BELLOTTI A., BOVE E., FARETTA S., FERRARA A., MANCINO G., PISANTE G., QUARANTA G. & TABERNER M. (1998) *Degradation processes in the Agri basin: evaluating environmental sensitivity to desertification at basin scale*. In Enne G., D'Angelo M. & Zanolla C. (eds.). *Indicators for assessing desertification in the Mediterranean*. Nucleo Ricerca Desertificazione, Università di Sassari.
- BRANDT J., GEESON N. & IMESON A. (2003) A desertification indicator system for Mediterranean Europe. DESERTLINKS Project ([www.kcl.ac.uk/desertlinks](http://www.kcl.ac.uk/desertlinks)).
- BRANDT J. (2005) Desertification information system to support National Action Programmes in the Mediterranean (DISMED). DIS4ME, Desertification Indicator System for Mediterranean Europe. ([www.unibas.it/desertnet/dis4me/using\\_dis4me/dismed.htm](http://www.unibas.it/desertnet/dis4me/using_dis4me/dismed.htm) and <http://dataservice.eea.europa.eu/data/service/metadetails.asp?id=635>).
- BROUWER F. & CRABTREE B. (1998) *Environmental indicators and agricultural policy*. CABI Publishing, Oxon, UK.
- BROUWER F.B., THOMAS A.J. & CHADWICK M.J. (Eds.) (1991) *Land use changes in Europe. Processes of change, environmental transformations and future patterns*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands.
- BRUNDTLAND G. H. (1987) *Our Common Future* Oxford University Press, Oxford.
- BRUNETTI A. & SALVATI L. (2003) *Siccità, desertificazione e gestione delle risorse idriche*. CNR-IBIMET & Servizio Agrometeorologico Regionale per la Sardegna.
- BRUNETTI A., DAL MONTE G., PASQUINI A. & SALVATI L. (2003) Phenagri: an Italian research program on phenology applied to agriculture. *Proceedings of the International Workshop 'Use of Earth Observation Data for Phenological Monitoring'*. European Commission, Joint Research Centre, Ispra.

- BRUNETTI A., GIOVACCHINI A. & SALVATI L. (2003) *La disponibilità idrica nei terreni agricoli del sud Italia: andamento di un indicatore di siccità negli ultimi venti anni*. In: Vento D. (ed.) *Le variazioni del clima in Italia negli ultimi venti anni*. MIPAF-UCEA, Roma.
- BRUNETTI M., MAUGERI M., NANNI T., NAVARRA A. (2001) *Droughts and extreme events in regional daily Italian precipitation series*. Submitted.
- BRUNINI C., MESSINA A., PARADISI F. (2002) *L'infrastrutturazione delle province italiane: metodi e sperimentazioni*. VI Conferenza Nazionale di Statistica, ISTAT, Roma.
- COMITATO NAZIONALE PER LA LOTTA ALLA DESERTIFICAZIONE (1998) *Comunicazione nazionale alla Convenzione delle Nazioni Unite per la lotta contro la desertificazione nei paesi gravemente colpiti dalla siccità e/o desertificazione, con particolare urgenza in Africa (UNCCD)*. [www.desertification.it](http://www.desertification.it)
- COMITATO NAZIONALE PER LA LOTTA ALLA DESERTIFICAZIONE (1999) *Carta delle Aree Vulnerabili al Degrado del Territorio e Sensibili al Fenomeno della Desertificazione*. Redazione a cura del Servizio Idrografico e Mareografico Nazionale – Dip. Servizi Tecnici Nazionali – Ministero dell'Ambiente.
- CORONA P., FERRARI B., MARCHETTI M. & BARBATI A. (2006). *Risorse forestali e rischio di desertificazione in Italia. Standard Programmatici di Gestione*. Università della Tuscia, Accademia Italiana di Scienze Forestali, Comitato Nazionale per la Lotta alla Siccità e alla Desertificazione, Roma.
- CORTEMIGLIA G.C. (2002) *Messa a punto di una procedura per l'analisi climatica delle serie termopluviometriche storiche italiane con relativa applicazione esemplificativa alla serie storica di Genova (1833-2001)*. Dipartimento per lo Studio del Territorio e delle sue Risorse, Facoltà di Scienze Matematiche, Fisiche e Naturali, Università di Genova, Quaderno n. 3.
- COSTANTINI E.A.C., BOCCI M., L'ABATE G., FAIS A., LEONI G., LOJ G., MAGINI S., NAPOLI R., NINO P., PAOLANTI M., SALVESTRINI L., TASCONE F. & URBANO F. (2004) *Mapping the state and risk of desertification in Italy by means of Remote Sensing, Soil GIS and the EPIC model*. Methodology Validation on the island of Sardinia, Italy.
- COSTANTINI E.A.C., CALÌ A., CASTELLI F., LORENZONI P., RAIMONDI S., RUSTICI L. (1996). *Esperienze di applicazione e validazione di alcuni modelli tradizionali ed innovativi per la classificazione del pedoclima*. *Agricoltura Ricerca*, XVIII, 164-165-166 p.7-24.
- COSTANTINI E.A.C., CASTRIGNANÒ A., LORENZONI P., CALÌ A., RAIMONDI S. E CASTELLI F. (1997). 1. *Il pedoclima e il suo ruolo di indicatore di sensibilità ambientale*. In: *Sensibilità e vulnerabilità del suolo. Metodi e strumenti di indagine*. A cura di P. Sequi e G. Vianello. Ed. Franco Angeli, Milano, 29-94.
- COSTANTINI E.A.C., URBANO F., BONATI G., NINO P., FAIS A. (curatori) (2007) *Atlante nazionale delle aree a rischio di desertificazione*. INEA, Roma, pp. 108.



- D'OTTAVIO, P. BAFFARI, V. TRIVIGNO (2004) *Carta delle aree sensibili alla desertificazione in Basilicata* (Progetto DesertNet).
- DE SALVO P., SALVATI L., PASQUINI A., BRUNETTI A., BELTRANO M.C. (2005) Valutazione agroclimatica dell'area costiera tirrenica: primi risultati. *Italian Journal of Agrometeorology* 9: pp. 126-127.
- DISFORME PROJECT – Sito web: <http://www.kcl.ac.uk/projects/desertlinks/>
- DISMED (2003). Map of Sensitivity to Desertification and Drought in the Mediterranean Basin – Italy. [http://dismed.eionet.eu.int/Facilities/dismed\\_products](http://dismed.eionet.eu.int/Facilities/dismed_products)
- DISMED PROJECT (2002) *Technical workshop on thematic and sensitivity mapping on desertification and drought – Italian Country Report.*
- ENNE G. & ZUCCA C. (2000) *Desertification indicators for the European Mediterranean region. State of the art and possible methodological approaches.* ANPA, Rome.
- ENNE G., D'ANGELO M. & ZANOLLA C. (1998) *Indicators for assessing desertification in the Mediterranean.* Nucleo Ricerca Desertificazione, Università di Sassari.
- F. BASSO, E. BOVE, S. DUMONTET, A. FERRARA, M. PISANTE, G. QUARANTA, M. TABERNER (2000) *Evaluating environmental sensitivity at the basin scale through the use of geographic information systems and remotely sensed data: an example covering the Agri basin – Southern Italy.*
- FASOLI M.A. (2003) *Indicatori ambientali in agricoltura 2000.* Istituto Provinciale di Statistica, Collana ASTAT 101.
- FERRARA, A. BELLOTTI, S. FARETTA, G. MANCINO, P. BAFFARI, A. D'OTTAVIO, V. TRIVIGNO (1999) *Map of environmental sensitivity areas to desertification for the Basilicata region, Italy.*
- G. BIANCO, G. BANDINELLI, G. MANCA, S. CANU (2001). *Metodologia per la redazione di una carta in scala 1:250.000 sulle aree vulnerabili al rischio di desertificazione in Sardegna, sulla base di parametri meteorologici, fisiografici e pedologici.*
- G. QUARANTA, R. SALVIA (2005) *Riqualificazione e gestione del territorio, lotta alla desertificazione e sviluppo sostenibile – Buone pratiche per i territori rurali.* Franco Angeli, Milano.
- GOLINI A., MUSSINO A. & SAVIOLI M. (2000) *Il malessere demografico in Italia.* Il Mulino, Bologna.
- GROVE A.T. & RACKHAM O. (1996) *Physical, biological and human aspects of environmental change.* Medalus II. Final Report. Medalus Office, Berkshire, UK.
- INCERTI G., FEOLI E., SALVATI L. & BRUNETTI A. (2005) *Drought estimation through a neural network approach.* *Int. J. Biometeorology*, in press.
- INEA (2001) *Stato dell'irrigazione in Campania.* Rapporto Irrigazione, Roma.
- ISSDS, INEA, Regione Sardegna, Regione Sicilia, Regione Calabria, Regione Puglia (2005) *Atlante Nazionale delle aree a rischio di desertificazione.*

- ISTAT (2003) *Principali fattori agricoli di pressione sull'ambiente*. Argomenti n. 27.
- JRC – INEA (2003) *Identification of Environmentally Sensitive Areas (ESAs) in the country of the Annex IV (Portugal, Spain, Italy, Greece, Turkey) UNCCD convention – brief methodological note*.
- KNERR B. (1998) *Impact of labour migration on the sustainability of agricultural development in arid regions*. In: Clarke J. & Noin D. *Population and environment in arid regions (Man and Biosphere Series 19)*. UNESCO, New York.
- KOSMAS C., KIRKBY M. & GEESON N. (1999) *The MEDALUS project. Mediterranean desertification and land use. Manual on key indicators of Desertification and mapping environmental sensitive areas to desertification*. EUR 18882, Bruxelles, Belgium.
- L. GENESIO, R. MAGNO, V. CAPECCHI, A. CRISCI, L. BOTTAI, R. FERRARI, L. ANGELI, L. GARDIN (2004) *Integrazione dei dati climatici, telerilevati e socio-economici per la definizione di indicatori di vulnerabilità alla desertificazione (Progetto DesertNet)*.
- L. GIORDANO, F. GIORDANO, S. GRAUSO, M. IANNETTA, L. ROSSI, M. SCIORTINO, G. BONATI (2002) *Individuazione delle zone sensibili alla desertificazione nella regione Siciliana*. In: "Valutazione e mitigazione della desertificazione nella Regione Sicilia: un caso studio, pp. 27-47. A cura del Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio". ENEA, Roma.
- LUISE, S. VITI, F. GIORDANO (2003) *Emergenze globali e fenomeni locali: l'analisi della desertificazione in Italia*, Atti della 7<sup>a</sup> Conferenza Nazionale delle Agenzie ambientali, Milano 24-26 Novembre 2003.
- MARINI, L. NAITZA, D. MACCIOTTA, S. ORRÙ (2004) *La cartografia delle aree a rischio desertificazione (Progetto DesertNet)*
- MONTANARELLA L. (2001). *Indicazione delle aree vulnerabili alla desertificazione in Puglia*. In: Documenti del territorio n. Speciale Monografico 2001. Il Sistema Informativo Territoriale della Regione Puglia.
- MORGILLO A., BRUNETTI A. & SALVATI L. (2002) *La siccità in Italia: spunti di discussione sul clima, sugli aspetti pedoclimatici e sul bilancio idrico*. In: AIAM (Ed.) *L'agrometeorologia nel Mediterraneo*. Associazione Italiana di Agrometeorologia & Regione Siciliana, Assessorato Agricoltura e Foreste.
- MOTRONI, S. CANU, G. BIANCO, G. LOJ (2004) *Carta delle aree sensibili alla desertificazione – ESAs (Progetto DesertNet)*.
- P. SEQUI, G. VIANELLO (a cura di, 1998) *Sensibilità e vulnerabilità del suolo: metodi e strumenti d'indagine*, P. F. RAISA-CNR e PANDA-MiPA, Collana Sistema Agricolo Italiano, FrancoAngeli Editore, Milano.
- PEARCE D. (a cura di) 1993. *Un'economia verde per il paese*. Il Mulino, Bologna.
- PERINI L., SALVATI L. & CECCARELLI T. (2006) *Atlante agroclimatico – Scenari di cambiamento climatico*. CRA-UCEA & Agrisian, Collana Climagri n. 45 (Atlante + CD), 72 pagine.

- Povellato A. (a cura di) 1996. *Prospettive per l'agricoltura ecocompatibile in Abruzzo. Analisi tecnico-economiche e socio-strutturali*. INEA, Regione Abruzzo, POM 1994-96.
- Ranuzzi M., Salvati L. & Perini L. 2005. *Analisi statistica e geografica per la spazializzazione della temperatura a scala di bacino idrografico: risultati preliminari*. Italian Journal of Agrometeorology 9: 130-131.
- RENARD K.G., G.R. FOSTER, G.A. WEESIES, D.K. MCCOOL & D.C. YODER (1997) *Predicting Soil Erosion by Water*. Agriculture Handbook No. 703. USDA, Washington D.C. Equation (RUSLE). United States Department of
- ROSINI E. (1988) *Introduzione all'agroclimatologia*. ERSA, Servizio Meteorologico Regionale, Bologna.
- RUBIO J.L. & BOCHET E. (1998). *Desertification indicators as diagnosis criteria for desertification risk assessment in Europe*. J. Arid Environm. 39: 113-120.
- S. CARNEMOLLA, A. DRAGO, M. PERCIABOSCO, F. SPINNATO (2002) *Metodologia per la redazione di una carta in scala 1:250.000 sulle aree vulnerabili al rischio di desertificazione in Sicilia*.
- SALVATI L. & ZITTI M. (2005) *Desertification risk: linking bio-physical and social processes in an ecological perspective*. Biota – Journal of Biology and Ecology, 5: pp. 67-77.
- SALVATI L., CECCARELLI T. & BRUNETTI A. (2005) *Geodatabase sul rischio di desertificazione in Italia*. CRA – Ufficio Centrale di Ecologia Agraria, Roma.
- SALVATI L., CECCARELLI T. & BRUNETTI A. (2005) *Agricoltura e fenomeni di desertificazione: indicatori tematici e stima della vulnerabilità del territorio*. CRA-UCEA Working Paper no. 1, 24 pagine.
- SALVATI L., CECCARELLI T. & BRUNETTI A. (2005) *Desertificazione, cambiamenti climatici e agricoltura in Italia: Primi risultati di un modello di valutazione del rischio di desertificazione*. Atti del Convegno 'AgriStat – Statistiche Agricole' – Firenze, Maggio 2005.
- SALVATI L., CECCARELLI T. & BRUNETTI A. (2005) *La vulnerabilità alla desertificazione in Italia*. Bollettino Agro-meteorologico Nazionale 13(1): 12-15.
- SALVATI L., CECCARELLI T. & BRUNETTI A. (2005) *Valutazione del rischio di desertificazione in Italia: primi risultati*. Italian Journal of Agrometeorology 9: 124-125.
- SALVATI L., CECCARELLI T. & BRUNETTI A. (2005) *Geodatabase sul rischio di desertificazione in Italia*. CRA-UCEA & Agrisian, Collana Climagri n. 30 (Atlante + CD), 72 pagine.
- SALVATI L., CECCARELLI T. & PERINI L. (2006) *Degrado del territorio, fattori di pressione e fenomeni di desertificazione in Italia – Vulnerabilità ambientale nello scenario del cambiamento climatico: un'analisi a livello comunale*. CRA-UCEA & Agrisian, Collana Climagri n. 50 (Atlante + CD), 196 pagine.
- SALVATI L., GIORDANO F., CECCARELLI T., VITI S., DI LEGINIO M., DE CARLI G.,

- L. PERINI, A. BRUNETTI & A. LUISE (2006) *Il rischio di desertificazione in Italia: analisi degli indicatori, delle procedure cartografiche e delle metodologie di valutazione*. Manuali e Linee Guida APAT (Atlante + CD), 128 pagine.
- SALVATI L., INCERTI G., GIOVACCHINI A., FEOLI E. & BRUNETTI A. (2004) *Monitoraggio della siccità in agricoltura: l'approccio agro-meteorologico e il contributo del telerilevamento*. In: Esposito S. & Epifani C. (Eds.) *Climagri – Cambiamenti Climatici e Agricoltura*. Ministero delle Politiche Agricole e Forestali – UCEA.
- SALVATI L., INCERTI G., GIOVACCHINI A., FEOLI E. & BRUNETTI A. (2005) *Monitoraggio della siccità in agricoltura tramite il telerilevamento*. CRA-UCEA, Collana Climagri n. 40, 64 pagine.
- SALVATI L., LIBERTÀ A. & BRUNETTI A. (2004) *Il 'siccitometro': valutazione degli episodi di siccità attraverso l'analisi dei periodi secchi*. *Italian Journal of Agrometeorology* 8: 68-69.
- SALVATI L., LIBERTÀ A. & BRUNETTI A. (2005) *Bio-climatic evaluation of drought severity: a computational approach using dry spells*. *Biota – Journal of Biology and Ecology*, 5: 55-65.
- SALVATI L., TUFANO M. & CANEVA G. (2003) *Il profilo climatico del territorio*. In: Caneva G. & Travaglini C.M. (eds.) *Atlante storico-ambientale di Anzio e Nettuno*. Provincia di Roma, De Luca Editore.
- SCARASCIA M.E., DI BATTISTA F. & SALVATI L. (2005) *Water resources in Italy: availability and agricultural uses. Irrigation and Drainage – ICID International Journal*, 55: 115-127.
- SHANNON H. & WEAVER C.E. (1949) *The mathematical theory of communication*. Illinois University Press, Urbana.
- THORNES J.B. & BRANDT J. (1995) *Mediterranean desertification and land use*. John Wiley & Sons, Chichester, UK.
- TRISORIO A. (2005) *Misurare la sostenibilità, indicatori per l'agricoltura italiana*. Istituto Nazionale di Economia Agraria, Roma.

## GLI AUTORI

LUIGI PERINI

Agrometeorologo del CRA-CMA, membro della Commissione Tecnico Scientifica del CNLSD.

LUCA SALVATI

Biologo e Statistico economico, specializzato in Geografia, Docente a contratto di “Tecniche cartografiche e GIS per le applicazioni ecologiche”, Terza Università di Roma.

TOMASO CECCARELLI

Laureato in Scienze Agrarie, Ph.D. in Scienze Geografiche (Università di Utrecht, Paesi Bassi), esperto GIS.

SIMONA SORRENTI

Statistico economico, assegnista di ricerca del CRA-CMA.

MARCO ZITTI

Economista agrario, esperto in sistemi informativi relazionali.

Luigi Perini ha svolto il ruolo di responsabile scientifico della ricerca organizzando e coordinando tutte le fasi del lavoro fornendo, inoltre, uno specifico contributo tecnico-scientifico allo sviluppo dei temi agroclimatici, nonché alla redazione dell'intero volume.

Luca Salvati ha impostato il disegno sperimentale, la predisposizione degli indicatori e l'implementazione dei modelli di stima della vulnerabilità ambientale; ha contribuito alla redazione dell'intero volume, curandone gli aspetti statistici e cartografici.

Tomaso Ceccarelli ha progettato l'intero database geografico rendendo operativo il modello GIS e la relativa applicazione informatica contribuendo, inoltre, alla redazione dell'intero volume.

Simona Sorrenti ha contribuito alla costruzione degli indicatori tematici e alle elaborazioni tabulari e grafiche, nonché alla redazione del volume.

Marco Zitti ha contribuito alla costruzione degli indicatori tematici, con particolare riferimento al settore agricolo, alle elaborazioni tabulari e grafiche, nonché alla redazione del volume.

Alle elaborazioni quantitative, con specifico riferimento agli indicatori del suolo, ha collaborato anche l'Ing. Ferdinando Urbano (CRA-ABP).

## RINGRAZIAMENTI

Si ringraziano per il contributo fornito:

Antonio Brunetti (CRA), Angelo Libertà (AGRISIAN-Almaviva Italia), Alessandro Balestrieri (AGRISIAN-Almaviva Italia), Maria Pina Ticca (ISTAT), Fabio Crescenzi (ISTAT), Bruno Massoli (ISTAT), Stefano Tersigni (ISTAT), Luigi Boselli (ISTAT), Edoardo A.C. Costantini (CRA-ABP), Ferdinando Urbano (CRA-ABP), Giusy Lombardi (MATTM), Teresa Federico (MATTM), Eleonora Gerardi (CRA-CMA), Alberto Vitiello (CRA-CMA), Cristina Galliera (CRA-CMA), Marina Fiore (UNICAL).

Un ringraziamento va tributato anche ai membri del CNLSD che hanno incoraggiato e promosso l'attività per realizzare il presente lavoro e, in particolare, a:

Bruno Dettori (MATTM), Piero Gagliardo (UNICAL), Giovannino Lopez (MATTM), Angelo Caliendo (UNIBA), Giuseppe Enne (UNISS), Massimo Bartolelli (Min. Attiv. Prod.), Angelo D'Eramo (Reg. Abruzzo), Giuseppe Geraci (Reg. Siciliana), Aldo Leo (Reg. Piemonte), Anna Luise (APAT), Giuseppina Monacelli (APAT), Maurizio Sciortino (ENEA), Guido Bonati (INEA), Piermaria Corona (UNITUSCIA), Paolo Sarfatti (IAO), Franco La Torre (ECOMED).

## INSTALLAZIONE DEL DVD\_ E REQUISITI DI SISTEMA

Le informazioni contenute nel DVD sono accessibili previa installazione di un *GIS-browser* disponibile nello stesso DVD. Tale applicativo, oltre ad essere necessario per la visualizzazione della cartografia, consente di utilizzare alcune tipiche funzionalità dei sistemi informativi geografici (navigazione, zoom, interrogazione dei dati associati, consultazione della legenda, esportazione in formato grafico e stampa, etc.).

Installazione: dal pannello “Start Menu” eseguire il file setup.exe contenuto nel DVD, seguire i passi previsti dal wizard di installazione fino a che l’installazione non viene completata.

La modalità di installazione standard prevede che nell’hard disk venga installata soltanto l’applicazione eseguibile (MapView.exe), quindi per il funzionamento dell’applicazione è necessaria la presenza del DVD. È possibile anche una installazione completa, ovvero, la esecuzione dell’applicazione senza DVD installazione su hard disk. Per questa modalità consultare il file leggimi.doc contenuto nell’applicativo.

Attivazione dell’applicativo: una volta effettuata l’installazione dal pannello “Start Menu” accedere alla lista dei programmi e alla voce “Vulnerabilità\_Desertificazione” selezionare “Map Viewer”. Si aprirà quindi una finestra iniziale da cui sarà possibile attivare il visualizzatore delle mappe (GIS browser) oppure una guida con una sintesi dei contenuti, mappe di tutti gli indicatori elaborati oltre ad istruzioni riguardanti il funzionamento dell’applicazione.

L’applicativo è stato realizzato con l’ausilio del prodotto *GIS-DVD\_Creator* della *Sistemi Territoriali S.r.l.* di Pisa.

Requisiti minimi di sistema:

- Processore di classe Pentium® III.
- Microsoft® Windows 2000, Windows XP, Windows Server 2003.
- 256 MB di RAM (raccomandato 512 MB).
- Scheda Grafica minimo 16 bit di colori.
- Risoluzione minima a 800x600.
- Spazio su disco rigido richiesto: 20 MB (se non effettua l’installazione su *hard disk*).

Supporto Tecnico

e-mail: [supporto@sister.it](mailto:supporto@sister.it)

Finito di stampare nel mese di giugno 2008  
dalla Tipolitografia Edi.Bo. s.r.l. – Catania