

Suolo e territorio

10



INTRODUZIONE

In ambito scientifico non è comune trovare un termine che assume significati tanto diversi, secondo il contesto in cui viene usato, come il “suolo”. Pedologi, geologi, agronomi, ingegneri, architetti, urbanisti, economisti, politici e anche letterati, ognuno ha una propria definizione di suolo che va da “terra madre” a “suolo patrio”. Anche la normativa vigente non aiuta a far chiarezza; essa fornisce una definizione omnicomprensiva di suolo (*suolo: il territorio, il suolo, il sottosuolo, gli abitati e le opere infrastrutturali*), alimentando la dissonanza con quanto generalmente inteso con gli omonimi termini, a livello europeo. Nelle pagine seguenti il territorio è inteso come “porzione delimitata della superficie terrestre le cui caratteristiche comprendono tutti gli attributi della biosfera, della geosfera e i risultati dell’attività umana presente e passata”. Con il termine “suolo” si intende, invece, il sottile mezzo poroso e biologicamente attivo che rappresenta “lo strato superiore della crosta terrestre, costituito da componenti minerali, organici, acqua, aria e organismi viventi. Rappresenta l’interfaccia tra terra, aria e acqua e ospita gran parte della biosfera”¹ e che “... capace di sostenere la vita delle piante, è caratterizzato da una flora e fauna propria e da una particolare economia dell’acqua. Si suddivide in orizzonti aventi caratteristiche fisiche, chimiche e biologiche proprie”².

Insieme con aria e acqua, il suolo è, quindi, essenziale per l’esistenza delle specie viventi presenti sul Pianeta ed esplica una serie di servizi ecosistemici di approvvigionamento, regolazione e supporto che lo pongono al centro degli equilibri dei grandi temi ambientali, dall’adattamento e mitigazione dei cambiamenti climatici sino alla sicurezza alimentare e della salute umana.

Esso svolge, infatti, un ruolo prioritario nella salvaguardia delle acque sotterranee dall’inquinamento, nel controllo della quantità di CO₂ atmosferica, nella regolazione dei flussi idrici superficiali con dirette conseguenze sugli eventi alluvionali e franosi, nel mantenimento della biodiversità, nei cicli degli **elementi nutritivi** ecc. Dallo stato di salute del suolo dipende tutta la biomassa vegetale e animale terrestre, con evidenti ripercussioni sull’intera catena alimentare. Il suolo, in quanto laboratorio biologico straordinariamente differenziato, può essere considerato come un complesso corpo vivente, in continua evoluzione e sotto alcuni aspetti ancora poco conosciuto, che fornisce all’umanità gli elementi necessari al proprio sostentamento.

Nonostante i fondamentali servizi che fornisce agli ecosistemi il suolo

Il suolo è lo strato superiore della crosta terrestre costituito da componenti minerali, materia organica, acqua, aria e organismi viventi. Rappresenta l’interfaccia tra terra, aria e acqua e ospita gran parte della biosfera.

Il suolo, con aria e acqua, è essenziale per l’esistenza delle specie viventi presenti sul Pianeta.

¹ Commissione delle Comunità Europee (2006) - Strategia tematica per la protezione del suolo. COM(2006)231 definitivo. (Definizione in parte ripresa e inserita nell’Enciclopedia Treccani il 5/12/2014 in occasione della giornata mondiale del suolo)

² Soil Conservation Society of America (1986)

è troppo spesso percepito solo come supporto alla produzione agricola e come base fisica sulla quale sviluppare le attività umane. L'alterata percezione dell'essenzialità del suolo ne determina il suo uso/abuso nell'incertezza della sua fragilità, della sua sostanziale non rinnovabilità e degli effetti derivanti dalla perdita delle sue funzioni. Le scorrette pratiche agricole, la concentrazione in aree localizzate della popolazione, delle attività economiche e delle infrastrutture, le variazioni d'uso e gli effetti locali dei cambiamenti ambientali globali possono originare gravi processi degradativi che limitano o inibiscono totalmente la funzionalità del suolo e che spesso diventano evidenti solo quando sono irreversibili, o in uno stato talmente avanzato da renderne estremamente oneroso ed economicamente poco vantaggioso il ripristino. L'evoluzione nel tempo di queste pressioni è, inoltre, governata da una certa aleatorietà legata sia alle incertezze climatiche sia ai cambiamenti di uso, di pratiche agricole e di addetti impiegati, dipendenti anche da contingenze economiche e politiche. La risorsa suolo deve essere, quindi, protetta e utilizzata nel modo più idoneo, in relazione alle sue intrinseche proprietà e alle variazioni delle condizioni al contorno, affinché possa continuare a svolgere la sua insostituibile ed efficiente funzione sul Pianeta.

La consapevolezza degli effetti derivanti dalla perdita delle funzioni del suolo è scarsa.

Figura 10.1: Servizi ecosistemici forniti dal suolo



Fonte: Modificata da Haygarth P.M., Ritz K. (2009), *The future of soils and land use in the UK: Soil systems provision of land-based ecosystem services*, Land Use Policy, 26, 1, 187-197. In Terribile F. 2013, *Consumo di suolo e servizi ecosistemici*, Convegno "Il consumo di suolo", Roma 13/02/2013

Il suolo esplica una serie di servizi ecosistemici di approvvigionamento, regolazione e supporto che lo pongono al centro degli equilibri dei grandi temi ambientali.

LA SITUAZIONE IN ITALIA

La degradazione dei suoli

La conoscenza dei fattori che regolano l'insieme dei processi e dei fenomeni che agiscono nel suolo e sul territorio riveste un'importanza strategica per l'elaborazione di politiche di pianificazione territoriale attuate nell'ottica dello sviluppo sostenibile. Se le informazioni disponibili relativamente agli usi e alla conoscenza del territorio, anche se migliorabili, permettono di delineare un quadro uniforme della situazione italiana, la situazione conoscitiva rispetto al suolo è più disomogenea. Le regioni hanno o avranno a breve a disposizione un proprio *database* pedologico associato alla cartografia dei suoli alla scala di riconoscimento (1:250.000). L'ultima regione a dotarsi della carta dei suoli è il Lazio, i cui rilevamenti sono in via di conclusione. Diverse regioni hanno prodotto anche carte dei suoli di semi-dettaglio (1:50.000) e dettaglio (1:25.000-1:10.000) e varie carte tematiche derivate (testitura, drenaggio, permeabilità, attitudine alla coltivazione, capacità d'uso, capacità protettiva, metalli pesanti ecc.) interessanti parzialmente o totalmente le superfici regionali. Parte delle informazioni regionali sono confluite nel *database* nazionale dei suoli gestito dal Consiglio per la Ricerca e la sperimentazione in Agricoltura (CRA). L'Italia è quindi ricca di informazioni sui suoli che appaiono però non uniformemente distribuite a livello geografico e con un certo grado di disomogeneità interregionale che limita la possibilità di giungere a sintesi nazionali organiche. Queste difficoltà si manifestano anche nei tentativi di quantificare, a livello nazionale, le problematiche legate alla degradazione fisica e biologica che possono compromettere la corretta funzionalità dei suoli, di seguito riportate.

Il quadro delle conoscenze è buono per quanto riguarda l'uso del territorio, ma ancora piuttosto disomogeneo per quanto riguarda il suolo.

Diminuzione della sostanza organica

Il carbonio organico, che costituisce circa il 60% della **sostanza organica** presente nei suoli, svolge un'essenziale funzione positiva su molte proprietà del suolo: favorisce l'aggregazione e la stabilità delle particelle del terreno con l'effetto di ridurre l'erosione, il compatimento, il crepacciamento e la formazione di croste superficiali; si lega in modo efficace con numerose sostanze potenziando la fertilità del suolo e la sua capacità tampone; migliora l'attività microbica e la disponibilità per le piante di elementi nutritivi come azoto e fosforo. Inoltre, considerando che il serbatoio di carbonio suolo-vegetazione, sebbene di entità inferiore a quello oceanico e a quello fossile, risulta il più importante e direttamente influenzabile dall'azione umana, la conoscenza della quantità di OC (*Organic Carbon*) stoccato nei suoli rappresenta la base di partenza per definire il ruolo che può avere nel calcolo degli assorbimenti di gas serra.

Recentemente uno studio del JRC condotto in tutti gli Stati membri (con l'aggiunta di Serbia, Bosnia ed Erzegovina, Croazia, Monte-

La sostanza organica rappresenta il fattore più importante nel mantenimento della produttività e della multifunzionalità del suolo. Il carbonio organico è il suo principale componente.

negro, Albania, Macedonia e Norvegia) tramite l'utilizzo del modello CENTURY, ha stimato in 17,63 Gt il quantitativo di carbonio organico stoccato nei primi 30 cm di suolo agricolo.

La conoscenza del contenuto di OC nei suoli costituisce quindi un elemento di grande rilievo per determinarne la qualità in senso sia produttivo sia ambientale.

La Figura 10.2 rappresenta il contenuto in OC a scala europea ottenuto da elaborazioni numeriche con tecniche innovative (*Digital Soil Mapping* - DSM) a partire dalla prima banca dati armonizzata a livello europeo relativa al *topsoil* (*Land Use/Cover Area frame statistical Survey* - LUCAS).

I risultati sembrano essere in linea con quelli ottenuti nelle precedenti elaborazioni³, con valori più alti nelle aree scandinave e nel Regno Unito e minori nei paesi del Mediterraneo e dell'Est europeo dove prevalgono le aree agricole e le colture permanenti; pratiche agricole intensive contribuiscono infatti a incrementare la mineralizzazione della sostanza organica riducendo allo stesso tempo il contenuto in carbonio organico⁴.

La Figura 10.3 riporta, invece, la quantità di carbonio organico stoccata nei suoli italiani nei primi 30 cm, secondo i dati regionali attualmente disponibili e rielaborati nell'ambito del progetto SIAS (Sviluppo di Indicatori Ambientali sul Suolo).

Come si evince dalla Figura 10.4, in Italia, i suoli della pianura e della collina coltivata rientrano perlopiù nelle classi 25-50 t/ha e 50-75 t/ha, mentre i suoli delle aree collinari-montane, con prevalenza di sistemi vegetali naturali, ricadono soprattutto nelle classi 75-100 e 100-125 t/ha. Il riutilizzo dei dati esistenti ha comunque generato alcune differenze regionali che evidenziano le difficoltà nel gestire, nonostante una procedura comune, dati prodotti da enti/laboratori/persone diverse in tempi diversi. Tale situazione richiede, pertanto, una revisione ulteriore dei dati di base e, in particolare per i terreni agricoli, lo sforzo di ricondurre tutti i dati ad una data comune.

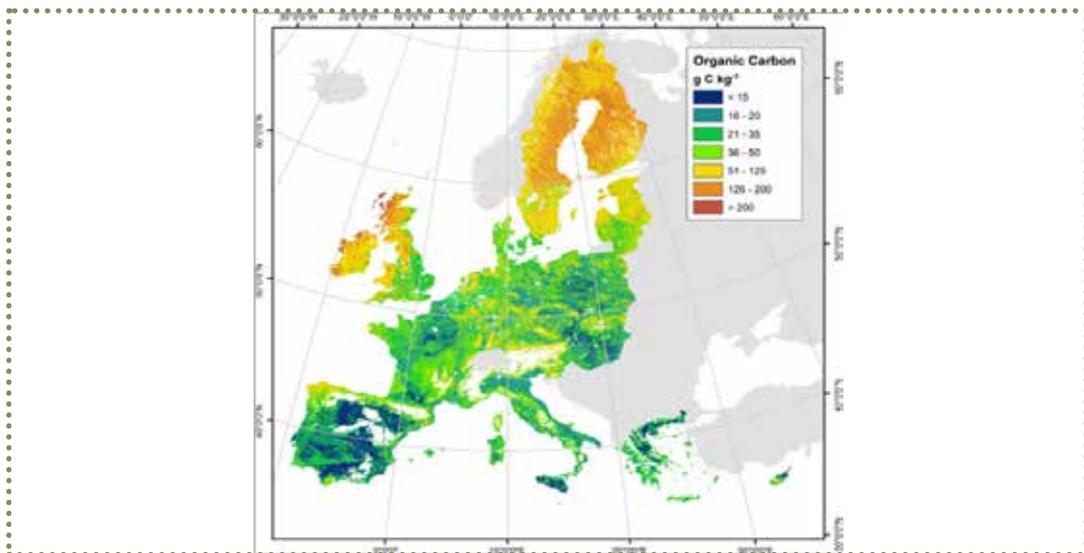
Lo stato attuale del progetto e la possibilità di conoscere le date di campionamento e le successive variazioni nell'uso del suolo rappresentano un buon punto di partenza per l'applicazione dei modelli della variazione di carbonio organico nei suoli sulla base degli avvicendamenti culturali. Tali elaborazioni modellistiche sono state testate o in fase di test, da parte del CRA, in alcune aree campione in diverse zone del territorio italiano. Sulla base della sperimentazione in corso sarà possibile estendere il modello all'intero territorio nazionale.

Il suolo costituisce un'importante riserva di carbonio, molto superiore a quella della vegetazione, e gioca un ruolo fondamentale nel ciclo globale del carbonio stesso.

³ Jones R.J.A, Hiederer R., Rusco E., Loveland P.J. and Montanarella L. (2005). *Estimating organic carbon in the soils of Europe for policy support. European Journal of Soil Science, October 2005*, 56, p.655-671

⁴ Lal R. (2002). *Introduction. In: Agriculture Practices and Policies for Carbon Sequestration in Soil* (eds J.M. Kimble, R. Lal&R.F. Follett), pp. 3-5. CRC Press, Boca Raton, FL

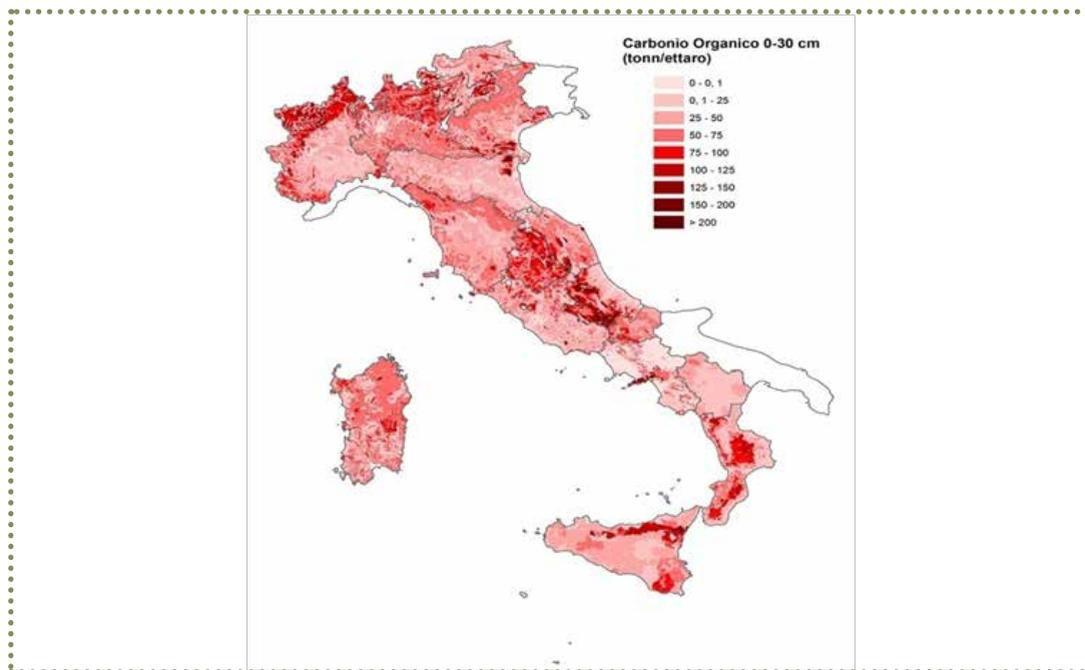
Figura 10.2: Contenuto in carbonio organico negli orizzonti superficiali (0-20 cm) dei suoli europei ottenuta a partire dalla banca dati LUCAS



Fonte: De Brogniez D., Ballabio C., Stevens A., Jones R. J. A., Montanarella L. and van Wesemael B. (2014), A map of the topsoil organic carbon content of Europe generated by a generalized additive model, *European Journal of Soil Science*

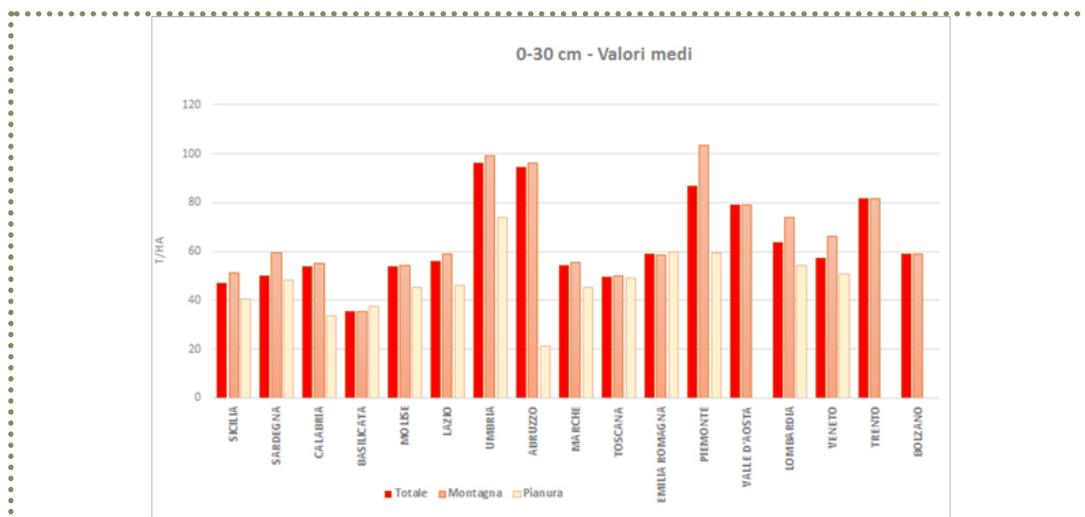
I valori più alti si trovano nelle aree scandinave e nel Regno Unito, i minori nei paesi del Mediterraneo e dell'Est europeo dove prevalgono le aree agricole e le colture permanenti.

Figura 10.3: Contenuto in tonnellate per ettaro di OC negli orizzonti superficiali dei suoli italiani (2014)



Fonte: ISPRA, ARPAV, Servizi Regionali per il Suolo, CRA (Progetto SIAS)

Figura 10.4: Distribuzione media del carbonio organico (0-30cm) nelle aree di montagna e pianura



Fonte: ISPRA, ARPAV, Servizi Regionali per il Suolo, CRA (Progetto SIAS)

I suoli italiani contengono mediamente circa 55t/ha di carbonio organico, con valori più elevati nelle aree montane.

Contaminazione dei suoli

L'introduzione volontaria o accidentale di sostanze pericolose nel suolo può determinare un'alterazione delle caratteristiche del suolo stesso, tali da comprometterne non solo le funzioni protettive ma anche quelle produttive ed ecologiche. Gli impatti dovuti alla contaminazione del suolo riguardano anche le acque superficiali e sotterranee, l'atmosfera e la catena alimentare, con l'insorgere di rischi, anche gravi, per la salute umana. Dal punto di vista economico le conseguenze sono legate soprattutto agli ingenti impegni finanziari necessari per la bonifica e il ripristino ambientale del suolo e delle altre matrici ambientali interessate (in particolare le acque sotterranee), ma anche alla perdita di valore delle aree contaminate e dei loro prodotti. La contaminazione può essere puntuale oppure diffusa. La contaminazione puntuale del suolo è localizzata in aree circoscritte, in corrispondenza di sorgenti di contaminazione note (siti contaminati). La contaminazione diffusa dei suoli, invece, è ascrivibile ad apporti di sostanze contaminanti di cui non è individuabile l'origine o dovuti alla presenza di molteplici sorgenti, ad esempio pratiche agricole, traffico veicolare, processi naturali di trasporto e diffusione di contaminanti. La presenza di siti contaminati è una problematica comune a tutti i paesi industrializzati e trae origine dalla presenza di attività antropiche che possono determinare fenomeni di contaminazione locale del suolo per sversamenti, perdite di impianti/serbatoi, non corretta gestione dei rifiuti, ecc. In Italia, i fenomeni di contaminazione puntuale sono riconducibili principalmente alle industrie legate alla raffinazione di prodotti petroliferi, all'attività mineraria, all'industria chimica, a quella metallurgica, alla presenza di manufatti in amianto e ad alcune attività di gestione dei rifiuti.

In relazione alle caratteristiche del sito, alle quantità e pericolosità degli inquinanti presenti, al rilievo dell'impatto sull'ambiente circostante in termini di rischio sanitario ed ecologico, nonché di pregiudizio per i beni culturali e ambientali sono stati individuati, tramite appositi atti normativi, 39 Siti di Interesse Nazionale (SIN) ai fini della bonifica (Figura 10.5). I 39 SIN sono caratterizzati dall'essere stati interessati in passato da attività produttive ed estrattive di amianto o dall'insistenza, attuale o pregressa, di attività di raffinerie, di impianti chimici integrati o di acciaierie. Per tali siti, il procedimento di bonifica è sotto la responsabilità amministrativa del Ministero dell'ambiente e della tutela del territorio e del mare.

Oltre ai SIN, esistono poi diverse migliaia di siti contaminati e siti potenzialmente contaminati di competenza regionale. Sulla base della normativa vigente tutti i siti contaminati, siano essi di competenza regionale o nazionale, dovrebbero essere inseriti in apposite "Anagrafi regionali dei siti da bonificare".

Il suolo svolge una fondamentale funzione protettiva dell'ambiente, mitigando gli effetti degli inquinanti.

I Siti di Interesse Nazionale sono caratterizzati dall'insistenza, attuale o pregressa, di raffinerie, impianti chimici integrati, acciaierie o dall'essere stati interessati in passato da attività produttive ed estrattive di amianto.

Figura 10.5: Ubicazione dei 39 Siti di Interesse Nazionale ai fini della bonifica



Fonte: ISPRA

I Siti contaminati di Interesse Nazionale sono 39. Per tali siti il MATTM è responsabile della gestione amministrativa dei procedimenti di bonifica.

Le problematiche relative alla contaminazione diffusa dei suoli sono principalmente legate all'utilizzo dei prodotti fitosanitari, alle emissioni in atmosfera da impianti industriali, civili e stradali, all'accumulo di nutrienti nei suoli (Figura 10.6).

L'eccesso di elementi nutritivi, in particolare di azoto (N) la cui forma ossidata (nitrato) è molto solubile in acqua e difficilmente trattenuta dal suolo, come pure l'utilizzo di prodotti fitosanitari può determinare gravi fenomeni di inquinamento diffuso delle acque sotterranee e superficiali⁵.

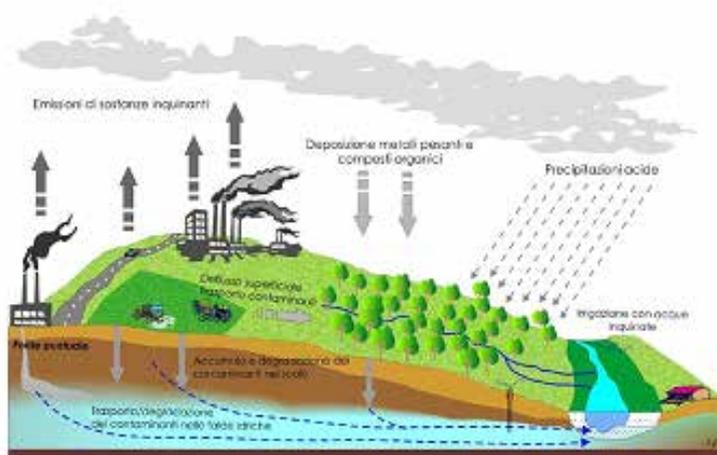
L'inquinamento delle acque deriva principalmente dall'attività dell'uomo.

⁵ Per questa tematica è stato predisposto un focus di approfondimento

Per quanto riguarda l'inquinamento da prodotti fitosanitari è stata prodotta la prima mappa della vulnerabilità potenziale delle aree Natura 2000⁶. I dati rilevati evidenziano il preoccupante consumo di prodotti fitosanitari pari a circa il 54% del consumo europeo, che si riflette nelle presenze rilevate nelle acque superficiali e sotterranee. Anche l'utilizzo agricolo di fanghi di depurazione che, oltre a nutrienti e carbonio organico, possono contenere quantità significative di sostanze pericolose per l'uomo (metalli pesanti), può portare a fenomeni di inquinamento se non correttamente gestito e controllato. Secondo i dati trasmessi dalle regioni al MATTM, l'apporto di sostanze inquinanti tramite i fanghi appare limitato e non supera mai, nel periodo 1998-2012, i valori limite imposti dalla legislazione nazionale ed europea.

Il contenuto di metalli pesanti e metalloidi nei suoli è dovuto sia a fattori naturali sia all'attività dell'uomo. Per una corretta valutazione è quindi necessaria la conoscenza delle concentrazioni naturali di questi elementi, determinate dal substrato geologico sul quale si sono sviluppati i suoli. Informazioni in tal senso sono disponibili in diverse regioni ma manca ancora un quadro omogeneo a scala nazionale.

Figura 10.6: Schema della contaminazione diffusa



Fonte: ISPRA

La contaminazione diffusa deriva da fonti industriali, civili o agricole. Quando il suolo perde la sua funzione protettiva, le sostanze inquinanti contaminano anche corsi d'acqua e falde acquifere ed entrano nella catena alimentare.

⁶ ISPRA (2015), Valutazione del rischio potenziale dei prodotti fitosanitari nelle Aree Natura 2000. ISPRA rapporti 216/2015

Erosione idrica

Si manifesta tramite l'asportazione parziale/totale del suolo, in particolare dei suoi orizzonti superficiali, maggiormente ricchi in sostanza organica, per l'azione delle acque di ruscellamento superficiale.

I danni arrecati dall'erosione vengono generalmente classificati come danni manifesti nei luoghi in cui il fenomeno avviene (danni *on-site*), che portano alla perdita di suolo, di fertilità, di biodiversità, ecc. e danni che si verificano in aree distanti da quelle in cui il fenomeno erosivo è avvenuto (danni *off-site*), che si traducono in alluvioni, danni alle infrastrutture, inquinamento delle acque superficiali dovuto al trasporto di inquinanti a mezzo delle acque di scorrimento superficiale (*runoff*) ecc. La valutazione della perdita di suolo viene effettuata tramite modelli empirici o fisicamente basati.

La stima della perdita di suolo per erosione idrica è realizzata, a scala nazionale e continentale, tramite l'utilizzo di vari modelli non confrontabili tra loro.

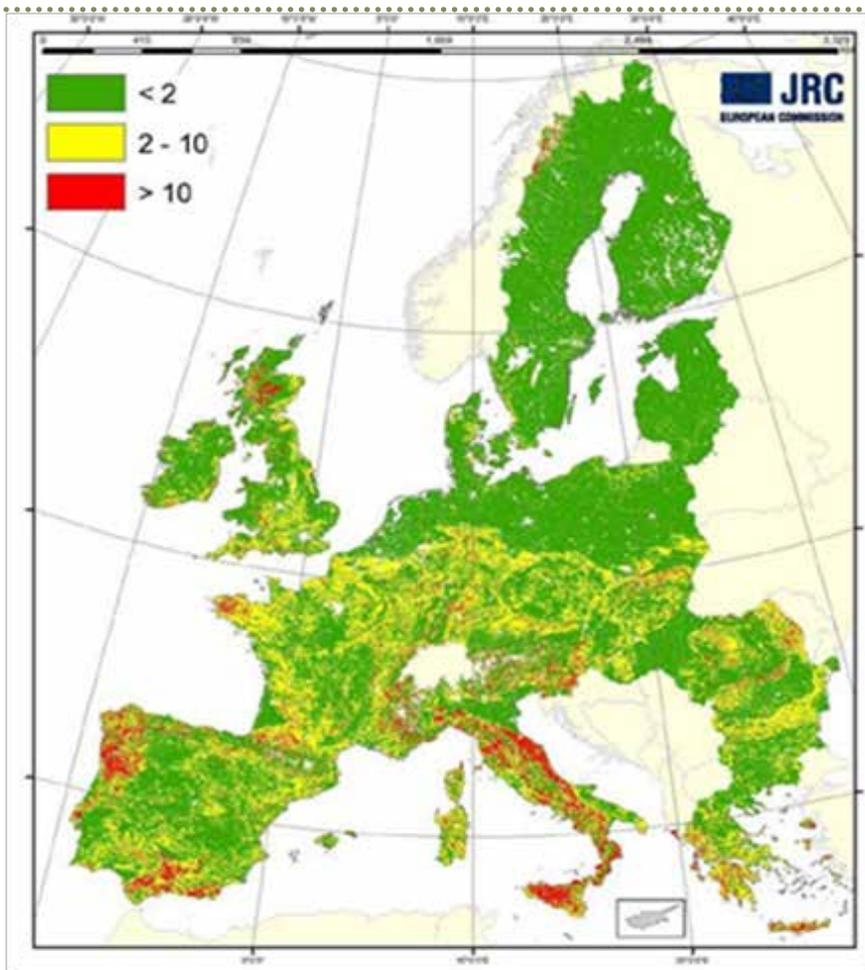
Secondo le stime ottenute tramite la modellistica (Figura 10.7), la superficie interessata dal fenomeno nell'UE-27 è pari a 1,3 milioni di km², il 20% dei quali subisce una perdita di suolo superiore a 10t/ha/anno. A livello nazionale circa il 30% dei suoli presenta valori superiori a tale soglia, ma un quadro più accurato, poiché basato sui dati di maggior dettaglio disponibili a livello locale, è comunque in via di realizzazione, tramite l'armonizzazione delle informazioni regionali (Figura 10.8).

Il progressivo aumento delle aree boscate a scapito di quelle agricole, confermato dai dati *CORINE Land Cover* (CLC), lascia supporre una consistente diminuzione del fenomeno nelle zone montane. Al contrario l'intensificazione della meccanizzazione nelle aree agricole collinari e la diffusione di incendi fa ipotizzare un incremento del fenomeno, collegato anche all'aumento dell'erosività delle piogge registrato negli ultimi anni, con scrosci più intensi ed eventi notevoli più ravvicinati.

I dati relativi all'efficacia delle misure agroambientali, introdotte dalla nuova Politica Agricola Comune (PAC) e previste nel Piano Strategico Nazionale di Sviluppo Rurale, evidenziano una significativa riduzione dei fenomeni erosivi in seguito alla loro applicazione.

L'erosione idrica determina una perdita di suolo, di fertilità e di biodiversità.

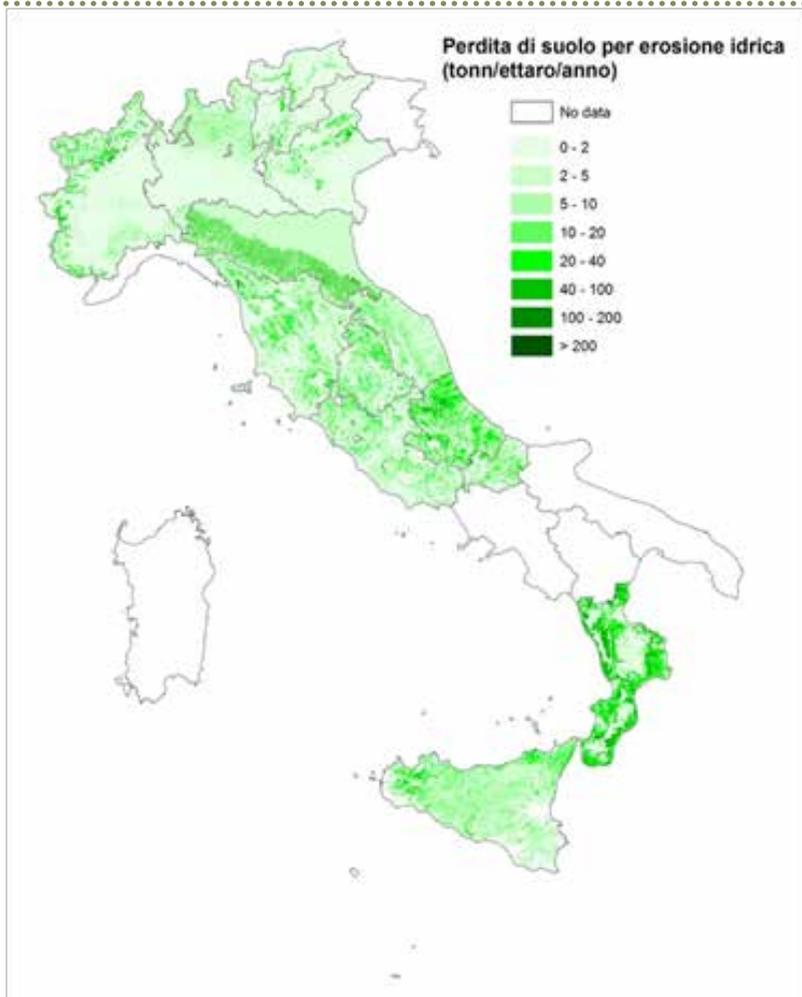
Figura 10.7: Stima dell'effettiva perdita di suolo per erosione idrica secondo il modello RUSLE riclassificato con suddivisione in tre classi



Fonte: Elaborazione JRC- Commissione delle Comunità Europee (2012) , Attuazione della Strategia tematica per la protezione del suolo COM (2012) 46 final

La perdita di suolo per erosione idrica è generalmente valutata tramite l'utilizzo della modellistica. A livello EU-27 si stima che quasi 300.000 km² subiscano una perdita di suolo superiore a 10t/ha/anno.

Figura 10.8: Valutazione della perdita idrica di suolo per erosione idrica secondo il progetto SIAS (2014)



Fonte: ISPRA, ARPAV, Regioni, Province autonome, CRA

Stima della perdita di suolo per erosione idrica secondo i dati dei servizi regionali per il suolo (Progetto SIAS). Le differenze interregionali sono legate principalmente alla diversa valutazione dei fattori C (efficacia antierosiva della copertura vegetale) e R (erosività delle piogge).

Salinizzazione

Consiste nell'accumulo, per cause naturale e antropiche, di sali nel suolo a un livello tale da compromettere l'attività vegetativa e produttiva delle colture, determinando effetti fortemente negativi per la biodiversità del suolo e per la resistenza dello stesso all'erosione. Alcune indagini conoscitive condotte in Italia evidenziano suoli par-

ticolarmente salini nella bassa Pianura Padana, in lunghi tratti del litorale tirrenico e adriatico, nella fascia costiera della Puglia, della Basilicata e della Sardegna oltre che in ampi tratti della Sicilia.

Compattazione dei suoli

L'utilizzo di macchinari pesanti, in particolare in suoli umidi, determina la compressione delle particelle del suolo con riduzione degli spazi esistenti traesse. Di norma si accompagna a cambiamenti significativi nelle proprietà strutturali e nel comportamento del suolo, quali il suo regime termico e idrico, l'equilibrio e le caratteristiche delle fasi liquide e gassose che lo compongono. Oltre a quella superficiale, frequente è la formazione di uno strato compatto alla profondità di lavorazione (suola d'aratura). Il risultato è, oltre a una diminuzione della resa, la drastica riduzione dell'infiltrazione delle acque con conseguente aumento del ruscellamento superficiale (*runoff*).

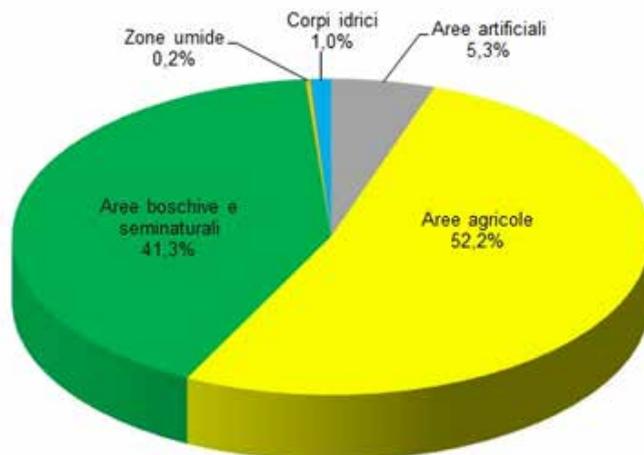
La compattazione è generalmente ritenuta, a livello continentale, un'importante concausa dei grandi eventi alluvionali. Gli studi sul territorio italiano sono però ancora molto scarsi.

Uso del suolo

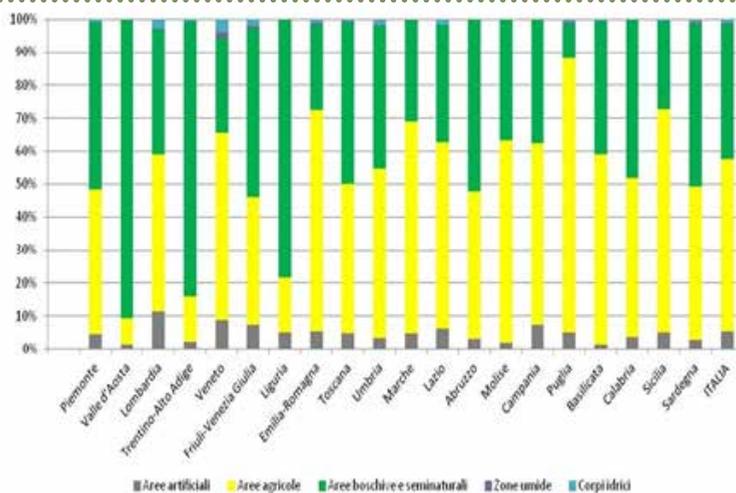
Relativamente all'uso del suolo, il confronto dei dati *CORINE Land Cover* 1990, 2000, 2006 e 2012 pur con i limiti dell'unità minima cartografabile (25 ettari per le cartografie di uso e di 5 ettari per i cambiamenti) evidenzia tra il 2006 e il 2012, a scala nazionale, un incremento generalizzato delle aree artificiali principalmente a scapito delle aree agricole e, in minor misura, delle aree boschive e seminaturali. In Italia, come nel resto dell'Europa, le aree coltivate mostrano una contrazione legata ai processi di abbandono culturale o di urbanizzazione, mentre le aree urbane confermano il *trend* espansivo. Entrambi i processi sono osservabili anche nel decennio 1990-2000. Nel periodo 2000-2006 si assiste, tuttavia, a un'inversione di tendenza per quanto riguarda le aree boschive e seminaturali che, cresciute di quasi 60.000 ettari nell'ultimo decennio del secolo scorso, perdono oltre 10.000 ettari nel periodo citato e perdono altri 6.600 ettari tra il 2006 e il 2012.

I dati CORINE Land Cover del periodo 1990-2012 evidenziano una contrazione delle aree coltivate, legata ai processi di abbandono culturale o di urbanizzazione, e la continua espansione delle aree urbane.

Figura 10.9: Ripartizione percentuale dell'uso del suolo per classi di primo livello CLC a livello nazionale e regionale (2012)



La Lombardia, il Veneto, il Friuli-Venezia Giulia, la Campania e il Lazio sono le regioni che presentano la maggiore percentuale di aree artificiali (> 6%).



Fonte: ISPRA

Le regioni con maggiore superficie adibita ad aree agricole (> 60%) sono: Puglia, Sicilia, Emilia-Romagna, Marche e Molise.

Impermeabilizzazione/consumo di suolo

Il consumo di suolo è associato alla condizione di perdita della risorsa suolo, inteso come superficie occupata e sottratta a diversa originaria vocazione, prevalentemente agricola o naturale. Il termine si riferisce a un incremento della copertura artificiale di terreno (edifici, capannoni, strade, ferrovie, aree estrattive, discariche, cantieri, cortili, piazzali e altre aree pavimentate o in terra battuta, serre e altre coperture permanenti, aeroporti e porti, aree e campi sportivi impermeabili, pannelli fotovoltaici e tutte le altre aree impermeabilizzate non necessariamente urbane) legato alle dinamiche insediative, un processo che include la costruzione di insediamenti sparsi in zone rurali, l'espansione delle città attorno a un nucleo urbano (compreso lo *sprawl*/urbano), e la densificazione o la conversione di terreno entro un'area urbana.

ISPRA, in collaborazione con il Sistema agenziale, ha sviluppato un sistema di monitoraggio puntuale integrato con il servizio Copernicus ad alta risoluzione sull'impermeabilizzazione del suolo (*Imperviousness degree* 2009), che rappresenta la più significativa collezione di dati a livello nazionale, ricostruendo l'andamento del consumo di suolo dal secondo dopoguerra al 2013.

Attualmente la percentuale di suolo consumato a livello nazionale è quasi del 7% (Tabella 10.1, Figura 10.10) corrispondente a circa 21.000 km².

A livello provinciale, la provincia di Monza e della Brianza, risulta quella con la percentuale più alta di suolo consumato rispetto al territorio amministrato, con quasi il 35%. Seguono le province di Napoli e Milano, con percentuali comprese tra il 25 e il 30%, quindi quelle di Varese e Trieste, che sfiorano il 20%.

A livello comunale vari comuni delle province di Napoli, Caserta, Milano e Torino superano il 50% e talvolta il 60%, di territorio consumato, mostrando la tendenza a consumare suolo con dinamiche che molto spesso si ricollegano ai processi di urbanizzazione dei rispettivi capoluoghi di provincia, con le caratteristiche tipiche di un'unica area metropolitana.

Il *record* assoluto va al piccolo comune di Casavatore, in provincia di Napoli, con oltre l'85% di suolo sigillato. Dei dieci comuni con la maggiore percentuale di suolo consumato, nove sono in provincia di Napoli (Figura 10.10).

Particolarmente spinto risulta il consumo di suolo lungo la fascia costiera dove raggiunge valori nettamente superiori rispetto al resto del territorio nazionale. È ormai artificializzato il 19,4% della fascia entro i 300 metri, il 15,8% tra i 300 e i 1.000 metri e il 7,0% entro i 10 km, a fronte di un 5,6% del resto del territorio.

Con consumo di suolo si intende il crescente insieme di aree con coperture artificiali legate alle dinamiche insediative in zone urbane e rurali.

Tabella 10.1: Stima della percentuale di suolo nazionale consumato

Anno	Suolo consumato (%)
Anni '50	2,7
1989	5,1
1996	5,7
1998	5,8
2006	6,4
2008	6,6
2013	6,9

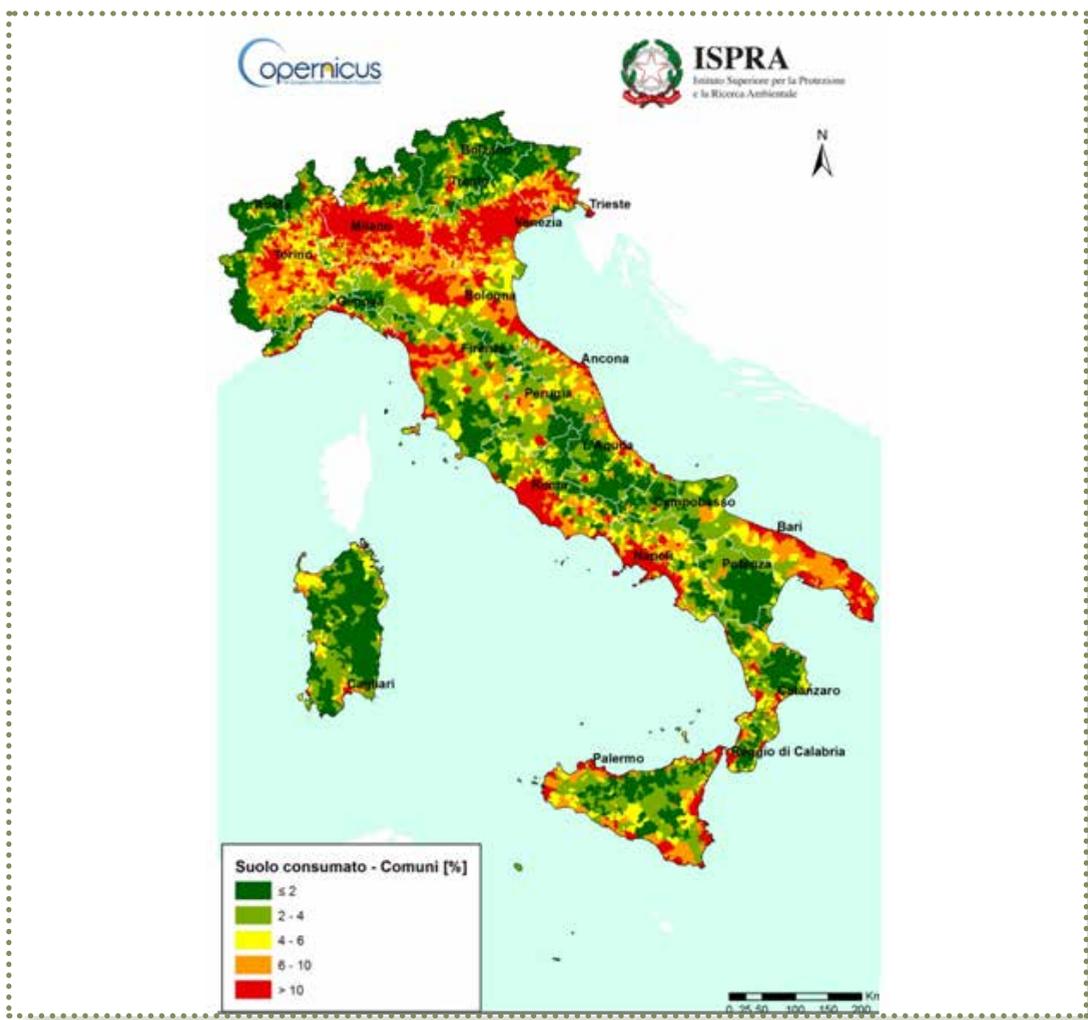
Fonte: ISPRA

Nota:

I valori in tabella sono stati ricalcolati sulla base dell'aumento dei punti campionari e dell'acquisizione di nuove immagini. Risultano pertanto più accurati rispetto a quelli pubblicati in precedenza.

I dati mostrano la continua crescita del suolo consumato in Italia, dal 2,7% degli anni '50 al 6,9% nel 2013; in media più di 7 m² al secondo per oltre 50 anni.

Figura 10.10: Percentuale di impermeabilizzazione del suolo in Italia per comune (2012)



Fonte: ISPRA

I valori più elevati sono localizzati nei comuni di alcune province lombarde, venete, campane e laziali, in particolare in prossimità delle grandi aree metropolitane, e lungo le aree costiere tirreniche e adriatiche.

Perdita di biodiversità edafica

Legata ai fenomeni precedentemente descritti è poi la progressiva perdita di biodiversità dei suoli. Il suolo è un ambiente molto complesso, *habitat* per un elevatissimo numero di organismi, concentrati in prevalenza nei primi centimetri dalla superficie. Nell'intricata matrice tridimensionale del suolo, tali organismi interagiscono tra loro in una fittissima rete alimentare, dando vita a un complesso siste-

Gli organismi che popolano il suolo svolgono un insostituibile ruolo ambientale e sono la base dell'esistenza della vita sulla terra, ma solo una piccolissima percentuale delle specie è conosciuta.

ma di attività biologiche. Essi contribuiscono attivamente a numerosi servizi come: la formazione del suolo e la capacità di trattenere acqua ed elementi nutritivi; la decomposizione della sostanza organica e di conseguenza la disponibilità degli elementi contenuti; la fissazione dell'azoto e il sequestro di carbonio; la soppressione o l'induzione di parassiti e malattie delle piante; la bonifica, tramite processi biologici (*bioremediation*) dei suoli contaminati e degradati (per mezzo della detossificazione dei contaminanti e il restauro delle proprietà e dei processi fisici, chimici e biologici). Nonostante la loro importanza, solamente una piccolissima percentuale degli organismi che popolano il suolo è stata finora identificata e classificata e, anche delle specie più note, mancano ancora molte informazioni di base (tassonomia, status, distribuzione, dinamica).

Desertificazione

Rappresenta lo stadio finale dei processi di degrado del suolo ed è definita come "il degrado delle terre nelle aree aride, semiaride e subumide secche, attribuibili a varie cause, tra le quali variazioni climatiche e attività umane"⁷. Tale fenomeno rappresenta, secondo il *Millennium Ecosystem Assessment* (MA)⁸, il declino dei "servizi ecosistemici" specialmente per i servizi legati all'agricoltura di sussistenza che minano direttamente le condizioni di vita delle comunità maggiormente vulnerabili.

La mancanza di una metodologia comune, adottata sia a livello globale sia locale, rende difficile la valutazione dell'intensità e dell'estensione del fenomeno e non permette comparazioni tra le cartografie finora realizzate.

Tra le metodologie maggiormente utilizzate c'è il modello ESA (*Environmentally Sensitive Areas*) che definisce un indice di qualità ambientale variabile tra 1 e 2 attraverso la combinazione di quattro componenti (indice di qualità del suolo, del clima, della vegetazione e di gestione del territorio).

Secondo le più recenti elaborazioni condotte a scale nazionale (Figura 10.11), si stima che il 10% del territorio nazionale è molto vulnerabile ($ESAI > 1,5$), il 49,2% ha una vulnerabilità media ($1,3 < ESAI < 1,5$) e il 26% una vulnerabilità bassa o non è vulnerabile ($ESAI < 1,3$).

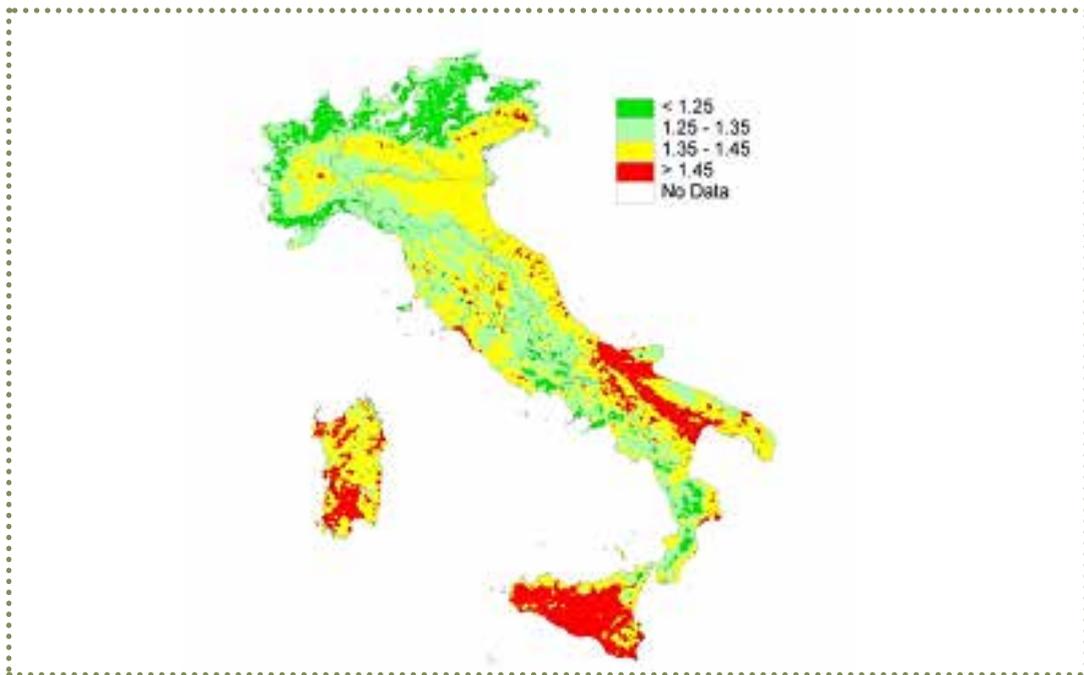
Le aree maggiormente vulnerabili ($ESAI > 1,5$) sono in Sicilia (42,9% della superficie regionale), Molise (24,4%), Puglia (15,4%), Basilicata (24,2%) e Sardegna (19,1%). Sei regioni (Toscana, Umbria, Marche, Abruzzo, Campania e Calabria) presentano una percentuale di territorio molto vulnerabile compresa fra il 5% e il 15%, mentre in tutte le altre le aree vulnerabili sono al di sotto del 15%.

La **desertificazione** rappresenta l'ultimo stadio della degradazione del suolo.

⁷ UNCCD - *United Nations Convention to Combat Desertification*, Art. 1a (1994)

⁸ Millennium Ecosystem Assessment, 2005. *Ecosystems and Human Well-being: Desertification Synthesis*. World Resources Institute, Washington, DC

Figura 10.11: Carta dell'indice ESA (Environmentally Sensitive Areas) (2008 su dati 2000)



Fonte: CRA-CMA,CNLS,D,MATTM

Le stime più recenti indicano che circa il 10% del territorio nazionale è molto vulnerabile al fenomeno, in particolare nelle regioni meridionali e insulari.

Georisorse

Le attività di estrazione, in sotterraneo, a cielo aperto o mediante pozzi, riguardano minerali che si presentano in natura allo stato solido (carbone e minerali), liquido (petrolio) e gassoso (gas naturale)⁹. Tali attività, anche quando regolamentate, risultano particolarmente invasive e possono determinare problematiche ambientali. Oltre agli impatti temporanei (rumore, polveri, inquinamento, ecc.), le pratiche d'estrazione provocano infatti profonde e definitive modifiche del paesaggio, una perdita irreparabile di suolo, possibili fenomeni di inquinamento delle acque sotterranee e una serie di problematiche relative alla destinazione d'uso delle aree dismesse.

Il RD 29 luglio 1927, tuttora vigente, suddivide, sulla base della tipologia di materiale e indipendentemente dalla modalità di estrazione (sotterranea o cielo aperto), le sostanze minerali di prima

Le attività estrattive sono un importante settore dell'economia nazionale ma possono determinare diverse problematiche ambientali.

⁹ Classificazione delle attività economiche Ateco 2007, <http://www3.istat.it/strumenti/definizioni/ateco/>

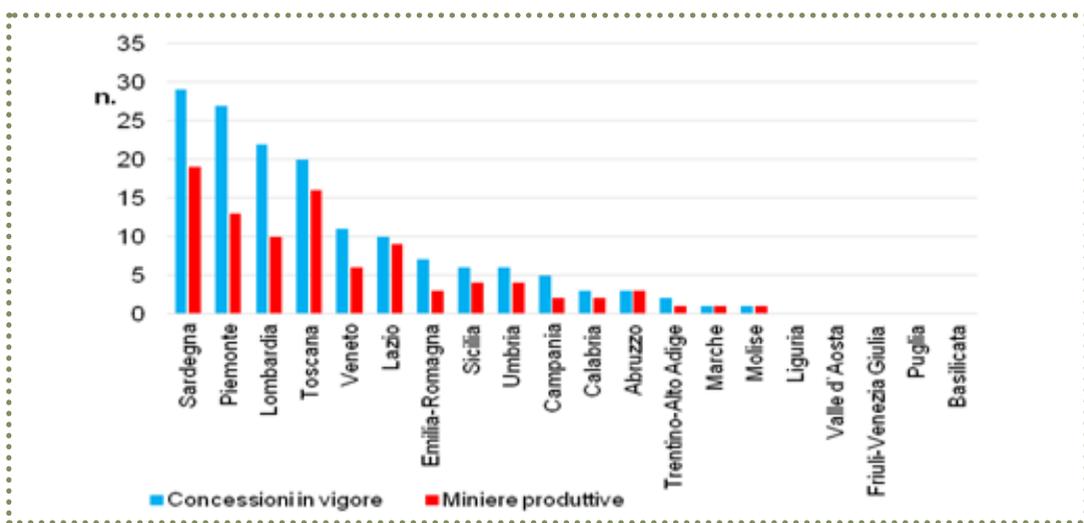
categoria (miniere) e quelle di seconda categoria (cave). Tra il 1977 e il 2012, in ottemperanza ai dettami costituzionali, le competenze in materia di cave e miniere sono state totalmente delegate alle regioni. L'attività di miniera è attualmente praticamente residuale e legata sostanzialmente alla presenza di miniere di marna da cemento, di minerali ceramici e di minerali a uso industriale.

Nel periodo 1870-2012 sono state in esercizio quasi 3.000 miniere che hanno interessato 88 province. Attualmente l'attività è praticamente residuale e limitata a circa (i dati della Lombardia sono stimati da ISPRA) 150 miniere con concessioni alla coltivazione ancora in vigore, delle quali solo 90 hanno realmente estratto nell'anno di riferimento (Figura 10.12).

La diminuzione dell'attività estrattiva, in particolare quella connessa con la coltivazione dei minerali metalliferi, i cui scarti presentano elevate concentrazioni di sostanze inquinanti, ha sicuramente mitigato la pressione delle miniere sul territorio. Restano, tuttavia, in gran parte insoluti i problemi, ecologico-sanitari e statico-strutturali, relativi alle centinaia di siti minerari abbandonati con le relative discariche degli scarti e i bacini di laveria.

Dal 1870 al 2012 sono state in esercizio circa 3.000 miniere.

Figura 10.12: Miniere in attività per regione (2012)



Fonte: ISPRA

Le miniere in produzione sono circa 90. La maggior parte riguardano l'estrazione di minerali ceramici e industriali.

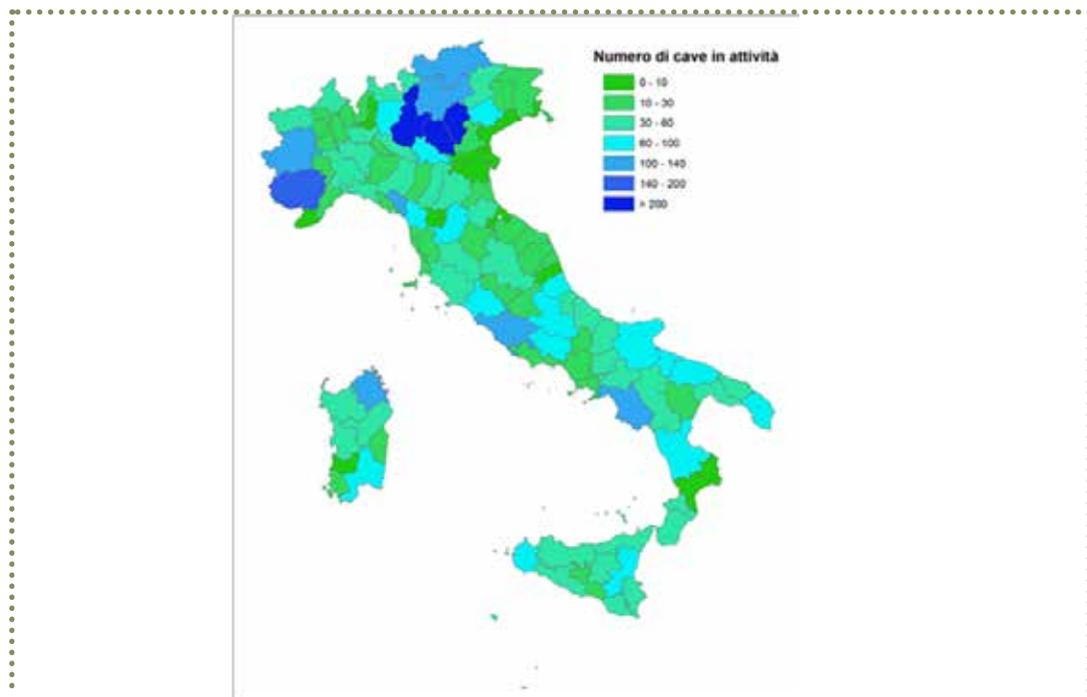
La produzione mineraria ha avuto un *trend* crescente fino alla metà del secolo scorso per poi calare sino ai livelli attuali, in cui l'attività è limitata a meno di 90 siti. La progressiva diminuzione dell'attività estrattiva, in particolare quella connessa con la coltivazione dei minerali metalliferi ha sicuramente mitigato la pressione delle miniere sul territorio.

Tuttavia restano insoluti i suddetti problemi, che non sono stati oggetto, ad oggi, di nessun intervento organico di recupero.

Per quanto riguarda le cave, sulla base dei dati reperiti presso gli uffici regionali preposti, ne risultano autorizzate, sul territorio nazionale, quasi 5.000 ma, a causa della crisi del settore, il numero delle cave realmente in produzione nel 2014 è notevolmente inferiore, in alcune regioni anche meno del 50%. Delle cave autorizzate, più del 60% è rappresentato dall'estrazione di materiali alluvionali (ghiaie, sabbie e argille) e di rocce carbonatiche. I prodotti di queste ultime vengono, in gran parte, frantumati per la produzione di materiale da costruzione. Le regioni con il maggior numero di cave sono le regioni padane, in cui è particolarmente sviluppata l'estrazione dei materiali alluvionali, la Puglia (con assoluta predominanza di estrazione di calcari) e la Toscana, che presenta il maggior numero di cave di rocce metamorfiche dovuto agli insediamenti estrattivi del settore apuano (marmi) (Figura 10.13).

La produzione nazionale totale è di circa 200.000.000 t, ma probabilmente risulta sottostimata. Il dato di produzione viene, infatti, comunicato dagli esercenti e non in tutte le regioni sono presenti efficaci e capillari azioni di controllo.

Figura 10.13: Distribuzione di cave attive (autorizzazione in vigore) sul territorio nazionale suddivise per provincia (2014)



Fonte: ISPRA

Sul territorio nazionale, sono autorizzate quasi 5.000 cave ma, a causa della crisi del settore, il numero di quelle realmente in produzione è notevolmente inferiore, in alcune regioni anche meno del 50%.

Relativamente alle attività di estrazione di risorse energetiche (idrocarburi e fluidi geotermici), rientranti secondo la normativa vigente tra i minerali di prima categoria, i più importanti giacimenti sono localizzati in Basilicata (che produce circa il 70% del petrolio e il 20% del gas naturale nazionale), in Sicilia (16% petrolio e 4% gas) e nell'*off-shore* adriatico dove si registra la massima produzione di gas naturale (46% nella zona A, 10% nella B e 10% nella D, corrispondenti ad alto, medio e basso Adriatico).

Al 31 dicembre 2014 risultano vigenti, per gli idrocarburi, 199 concessioni di coltivazione (67 in mare) e 118 permessi di ricerca (22 in mare); la superficie in terraferma impegnata dai titoli citati corrisponde a circa il 14% del territorio nazionale.

Importanti indicazioni relative alla costituzione del sottosuolo e sulle falde acquifere sono fornite dal *database* degli scavi, pozzi, perforazioni e rilievi geofisici effettuati per ricerche idriche di profondità superiore ai 30 metri dal piano campagna, gestito dall'ISPRA in attuazione della L 464/84. I dati evidenziano una forte incidenza dell'utilizzo delle acque a scopo irriguo (circa il 50%) con prevalente localizzazione nelle aree a bassa pendenza (0-20°).

Geositi

Suolo e sottosuolo oltre a espletare funzioni fondamentali per l'esistenza dell'umanità (dalla fertilità alle georisorse) rappresentano anche un patrimonio culturale di inestimabile valore le cui manifestazioni più rappresentative necessitano di conservazione e tutela. Tali siti (geositi e pedositi) rappresentano i punti chiave per la comprensione della evoluzione geologica e sono spesso caratterizzati da eccezionale rilevanza per gli aspetti paesaggistici e di grande richiamo culturale, didattico e ricreativo, tanto da poter rappresentare, in alcuni casi, occasioni di sviluppo locale, in una prospettiva di sviluppo sostenibile, ad esempio attraverso la promozione del geoturismo. Le informazioni relative ai geositi italiani raccolte nell'inventario, sono gestite dal *geodatabase* "Geositi" dell'ISPRA che, attualmente, contiene i dati relativi a più di 3.100 geositi (al 31 dicembre 2014), ma la qualità del dato varia da regione a regione e il contenuto è in continua revisione.

Cartografia geologica

Un'attenta e corretta politica ambientale e territoriale, mirata anche alla prevenzione degli eventi calamitosi, non può prescindere da un'accurata individuazione e da un'approfondita comprensione dei fenomeni a scala nazionale. Base fondamentale è la conoscenza dell'assetto geologico del territorio tramite la realizzazione di una cartografia geologica e geotematica ufficiale (e dell'associato *database*) a una scala che, consentendo una migliore definizione delle realtà

La maggior produzione di petrolio si ha in Basilicata, mentre il gas naturale proviene principalmente dall'alto Adriatico.

Il database ex L 464/84 permette una migliore conoscenza dell'assetto geologico e idrogeologico del territorio.

In Italia sono stati censiti, ad oggi, circa 3.100 geositi.

La cartografia geologica, a una scala adeguata, è una delle basi fondamentali per una corretta pianificazione territoriale.

territoriali più vulnerabili dal punto di vista della pericolosità geologica, la renda strumento efficace per una corretta pianificazione territoriale e un'adeguata politica d'intervento e di gestione del territorio. Attualmente il territorio nazionale è coperto dalla Carta geologica ufficiale alla scala 1:100.000, completata nel 1970. Della nuova cartografia geologica alla scala 1:50.000 (Progetto CARG), più consona agli studi applicativi, è stata finanziata, tra il 1987 e il 2004, la realizzazione di 277 fogli, ricoprenti meno della metà del territorio nazionale (il totale prevede 652 fogli). Di questi, 271 risultano conclusi: 150 sono stati stampati, 56 sono in fase di stampa, 47 in allestimento per la stampa e per 18 sono stati terminati i rilevamenti.

L'intero territorio nazionale è coperto dalla cartografia geologica in scala 1:100.000, della nuova cartografia a scala 1:50.000 è stata finanziata la realizzazione di 277 fogli su 625.

Le azioni volte alla tutela dei suoli

Nell'attuale legislazione internazionale ambientale c'è uno scarso riconoscimento dell'importanza del suolo e anche le legislazioni nazionali sono generalmente inadeguate a gestire le problematiche del degrado di tale risorsa. Ostacoli di natura concettuale¹⁰, politica¹¹ e tecnica hanno contribuito a rendere assai scarsi i riferimenti normativi globali e regionali a cui fare riferimento, indebolendo di fatto anche la capacità di sviluppare strumenti efficaci a livello nazionale.

I valori ecologici, sociali ed economici del suolo sono tenuti in scarsa considerazione nella normativa vigente

Nell'ultimo decennio, la comunità scientifica si è però mobilitata per alimentare la consapevolezza sulla gravità dei fenomeni di riduzione della funzionalità dei suoli sino al grado estremo rappresentato dalla perdita totale delle coperture pedologiche.

A maggio 2014, dopo 8 anni di attesa, è stata definitivamente ritirata¹² la proposta di Direttiva (*Soil Framework Directive* (COM(2006) 232), che avrebbe trasformato la *Soil Thematic Strategy* in norme vincolanti per gli Stati membri, ritenendone impossibile l'adozione a causa della forte opposizione di alcuni Stati membri per motivi legati principalmente alla sussidiarietà, ai costi ritenuti eccessivi e al carico amministrativo. La Commissione europea ha però dichiarato di voler mantenere il proprio impegno per il perseguimento dell'obiettivo della protezione del suolo, valutando le opzioni sulle migliori modalità per raggiungerlo. In attesa di una sua eventuale riproposizione, con forma e contenuti diversi, viene così a mancare l'unica proposta legislativa europea specificatamente mirata alla tutela del suolo.

La proposta di direttiva europea sulla protezione dei suoli è stata definitivamente ritirata.

La formulazione della *Soil Thematic Strategy* ha avuto comunque il grande merito di portare all'attenzione le funzioni e le problematiche del suolo e la sua indissolubile relazione con le altre matrici ambientali, alimentando e influenzando anche altre politiche settoriali quali quelle agricole.

¹⁰ Distinzione tra suolo e territorio (*land vs soil*)

¹¹ Non bisogna tralasciare il fatto che il suolo è l'unica matrice ambientale di cui viene riconosciuta la proprietà privata a livello universale

¹² OJC153 of 21 May 2014 e corrigendum in OJC 163 of 28 May 2014

Le varie riforme della PAC, non ultima quella del periodo 2014-2020, hanno rappresentato una svolta decisiva verso un'agricoltura il più possibile in equilibrio con l'ambiente e tale da garantire in futuro la produttività dei suoli, anche tramite azioni di contrasto delle forme di degrado. In particolare, la misura "Pagamenti agro-climatico-ambientali" incoraggia gli agricoltori a fornire alla società dei "beni pubblici ambientali", ovvero servizi ecosistemici, attraverso pratiche di mitigazione e adattamento ai cambiamenti climatici, di miglioramento dell'ambiente e del paesaggio, di conservazione delle risorse naturali, di difesa del suolo e di tutela della biodiversità. Il forte legame tra agricoltura e tutela del suolo è ribadito nel Settimo Programma di azione ambientale, in vigore da gennaio 2014, che definisce un quadro generale per le politiche europee in materia ambientale da seguire fino al 2020. Esso pone tra gli obiettivi prioritari la protezione, conservazione e miglioramento del capitale naturale dell'Unione compreso il capitale rappresentato dal suolo. A tal fine gli Stati membri, oltre a elaborare una mappa degli ecosistemi e dei relativi servizi, dovrebbero valutarne il valore economico, promuovendo l'integrazione di questi valori in sistemi contabili di comunicazione a livello di Unione Europea e nazionale.

La PAC e il 7° Programma di azione ambientale ribadiscono il forte e indissolubile legame tra agricoltura e tutela dei suoli.

Viene inoltre ribadita la necessità, espressa in altri documenti¹³, di arrivare a un consumo netto di suolo pari a zero entro il 2050 e vengono invitati gli Stati membri a dotarsi di un quadro giuridico vincolante, a intensificare gli sforzi per bonificare i siti contaminati, ridurre l'erosione dei suoli e incrementare la sostanza organica negli orizzonti pedologici più superficiali favorendo la gestione sostenibile delle attività agro-silvo-colturali, che rappresentano il 78% degli usi del suolo nell'UE. In altri termini, nonostante la sua importanza nelle dinamiche ecosistemiche, non esiste una normativa comunitaria che protegga e tuteli i suoli così come accade per le altre matrici ambientali, con le necessarie implementazioni nazionali.

L'unico accordo che ha un valore realmente legale nei confronti degli Stati che l'hanno sottoscritta e ratificata rimane la Convenzione delle Nazioni Unite per la lotta alla Siccità e alla Desertificazione (UNCCD), entrata in vigore il 26 dicembre 1996 e ratificata da 197 Paesi. La Convenzione rappresenta uno strumento giuridico internazionale che impegna tutti i Paesi firmatari a cooperare nella lotta alla desertificazione con lo scopo di attenuare gli effetti della siccità nei paesi gravemente colpiti mediante un approccio atto a migliorare le condizioni di vita delle popolazioni locali. Obbligo dei firmatari che si dichiarano affetti da desertificazione è quello di adottare e applicare un Piano di Azione Nazionale. I paesi donatori hanno invece obblighi di sostegno tecnologico e finanziario nei confronti dei Paesi in via di sviluppo. Tutti sono tenuti a fornire dettagliati rendiconti sull'effettiva realizzazione di questi obblighi.

¹³ COM(2011) 571; SWD (2012) 101

Alla Conferenza delle Nazioni Unite sullo sviluppo sostenibile (Rio +20) nel giugno 2012, il documento finale adottato dai governi "Il futuro che vogliamo" ha riconosciuto (paragrafo 206) "la necessità di un'azione urgente per invertire il degrado del suolo. In considerazione di questo ci impegneremo per raggiungere un mondo con un degrado del territorio neutro (Land Degradation Neutral World) nel contesto dello sviluppo sostenibile". L'obiettivo consiste nel tenere costante la quantità dei territori degradati mantenendo per le generazioni future la stessa disponibilità di territorio produttivo ora disponibile. Per raggiungere questo ambizioso obiettivo c'è l'assoluta necessità di annullare o ridurre localmente situazioni di degrado del suolo (*Zero Net Land Degradation*) o ripristinare la produttività in certe aree, anche attraverso un aumento della resilienza negli ecosistemi interessati. Anche a livello nazionale si assiste a una crescente consapevolezza dell'importanza ambientale dei suoli e del territorio, della necessità di contrastarne il progressivo degrado, assicurando il ripristino delle funzioni ecosistemiche che esso garantisce. Negli ultimi anni sono state predisposte e avanzate numerose proposte per la gestione sostenibile e la salvaguardia dei suoli italiani, tra questi diversi disegni di legge che mirano a contrastare il consumo di suolo, difendendo la destinazione d'uso dei terreni agricoli e incentivando il riuso e la rigenerazione di aree già urbanizzate. In particolare, è in una fase avanzata di discussione presso le commissioni riunite Agricoltura e Ambiente, la Legge quadro in materia di valorizzazione delle aree agricole e di contenimento del consumo del suolo, derivante dal disegno di legge sul "Contenimento del consumo del suolo e riuso del suolo edificato" approvato dal Consiglio dei Ministri il 13 dicembre 2013, in cui sono parzialmente considerati gli indirizzi e i principi espressi in tema di consumo di suolo a livello comunitario.

Alcune regioni hanno emanato leggi dirette a migliorare la qualità dell'ambiente urbano e hanno ritenuto indispensabile inserire il controllo dell'impermeabilizzazione e la riduzione del consumo di suolo tra i parametri che devono guidare l'espansione e la trasformazione del tessuto urbano. Attualmente è in attesa di discussione al Senato il disegno di Legge 1181 "Legge quadro per la protezione e la gestione sostenibile del suolo", finalizzato alla protezione e alla gestione sostenibile del suolo per difendere il paesaggio italiano, la sua produttività e la sua multifunzionalità. Tale DDL, ispirato alla *Soil Thematic Strategy*, mira a cucire una trama coerente di conoscenza e di supporto alla gestione del suolo italiano entro cui comporre e far dialogare i diversi attori che decidono sulla destinazione d'uso di questa risorsa. Inoltre la legge mira ad aumentare la produttività multifunzionale dei suoli e, più in generale, del paesaggio italiano, definisce il suolo nel suo corretto significato pedologico e individua le principali minacce cui è soggetto.

Le conclusioni di Rio+20 impegnano i governi a raggiungere un Land Degradation Neutral World nel contesto di uno sviluppo sostenibile.

La Legge quadro sul consumo di suolo è in fase avanzata di discussione presso le commissioni.

I nitrati dal suolo alle acque: una nuova visione

Una delle più importanti funzioni del suolo nel sostenere la crescita vegetale è di fornire i nutrienti essenziali (macro e micro): tra questi l'azoto (N) riveste un ruolo di primo piano. La principale riserva di azoto nel suolo è rappresentata dall'azoto organico (parte integrante della sostanza organica del suolo), che può arrivare a rappresentare negli orizzonti superficiali anche più del 90% dell'azoto totale. L'entità delle forme di azoto minerale presenti nel suolo, rappresentate da nitriti (NO_2^-), nitrati (NO_3^-) e ione ammonio (NH_4^+), dipende dalle attività biochimiche che in esso hanno luogo. Le piante assorbono azoto dal suolo prevalentemente in forma nitrica NO_3^- e alternativamente ammoniacale NH_4^+ ; l'azoto nitrico è libero nella soluzione circolante e la sua assimilabilità è molto maggiore di quella dell'azoto ammoniacale prevalentemente adsorbito sul complesso di scambio. Tra le diverse forme minerali, lo ione nitrato risulta quello più mobile e suscettibile a dilavamento; le perdite per dilavamento possono raggiungere il 99% dei nitrati presenti, mentre per la forma ammoniacale le perdite risultano molto inferiori all'1%. La perdita di nitrati per dilavamento dipende dalla concentrazione di NO_3^- nel suolo, dal volume di acqua drenata, dalla tessitura e struttura del suolo e dai fattori climatici.

L'azoto può essere introdotto nell'ambiente anche da attività antropiche, in particolare, attività agricole e insediamenti civili. Tali attività, negli ultimi decenni, hanno prodotto un progressivo aumento nelle acque superficiali e di falda della concentrazione di nitrati (aree agricole caratterizzate da attività di tipo intensivo, aree industrializzate o altamente urbanizzate) con rischi crescenti per gli acquiferi destinati alla captazione a scopo idropotabile. Per questo motivo, la legislazione europea e italiana ha fissato in 50 mg/l la concentrazione massima ammissibile dei nitrati nelle acque potabili. Le sostanze azotate possono provocare inoltre impatti ambientali su fiumi, laghi e acque costiere in quanto favoriscono, insieme al fosforo, l'eutrofizzazione, cioè la proliferazione incontrollata di specie autotrofe, alghe in particolare, a causa dell'abbondanza di nutrimento presente, determinando così la diminuzione della qualità di tali ambienti (ad esempio condizioni anossiche e moria dei pesci).

Nel corso degli anni il principale contributo all'incremento dei nitrati nelle acque è stato attribuito alle attività agricole insistenti sul territorio. Nel 1991, l'Unione Europea ha pertanto sentito la necessità di emanare una direttiva, la 91/676/CEE, meglio nota come "Direttiva Nitrati", in cui sono state indicate agli Stati membri le azioni da intraprendere per identificare le zone vulnerabili ai nitrati di origine agricola (ZVN) sul proprio territorio. Gli Stati membri sono inoltre tenuti ad attuare una serie di misure atte a ridurre l'inquinamento da nitrati delle acque, provocato in modo diretto o indiretto, e a prevenire ulteriori fenomeni di inquinamento mediante l'adozione di programmi d'azione e l'elaborazione di codici di buona pratica agricola, ovvero una serie di misure relative alle pratiche di fertilizzazione, di gestione dei suoli, di irrigazione, atte a garantire la minimizzazione dei rilasci di nitrati. In effetti le misure di riduzione e contenimento dei nitrati nelle acque hanno costi molto elevati, non sempre ammissibili se valutati rispetto all'incertezza associata al reale impatto delle fonti antropiche di azoto nitrico.

Per tale ragione si è reso necessario un approfondimento della conoscenza in termini di identificazione delle sorgenti e comprensione dei processi che influenzano la presenza locale di nitrati nelle acque (Accordo Stato-Regioni in materia di nitrati del 5 maggio 2012).

Nel 2012 il Ministero delle politiche agricole, alimentari e forestali (MIPAAF) ha stipulato una convenzione con ISPRA per lo svolgimento di uno studio finalizzato ad affinare il livello conoscitivo circa l'origine del contenuto dei nitrati nelle acque sotterranee e superficiali, nei territori delle regioni Piemonte, Lombardia, Emilia-Romagna, Veneto e Friuli-Venezia Giulia, definendone, per quanto possibile allo stato dell'arte e ove necessario, i contributi derivanti dalle diverse sorgenti sulla base di conoscenze ambientali e territoriali, dei numerosi processi fisici, chimici e biologici che intervengono e dei dati, delle informazioni e delle analisi di monitoraggio dello stato dei suoli e delle acque. Le attività sono state condotte con il concorso delle ARPA e delle regioni afferenti alle aree d'indagine.

La corrispondenza tra le concentrazioni di nitrati nelle acque sotterranee e superficiali e la quantità di nitrati introdotti e/o prodotti da una sorgente è di difficile individuazione a causa dell'esistenza di molteplici

sorgenti di nitrati provenienti da aree diverse, della sovrapposizione di sorgenti puntuali e diffuse, e della co-esistenza di diversi processi biogeochimici che avvengono nel suolo e che possono variare le concentrazioni immesse (ad esempio denitrificazione). Per tale ragione, si è reso necessario, da un lato, definire gli strumenti valutativi, collegati all'uso del territorio, maggiormente idonei a individuare con adeguata confidenza le sorgenti diffuse di nitrati, dall'altro implementare metodologie analitiche innovative in grado di valutare il prodotto dei meccanismi di migrazione/trasformazione chimico-fisica dell'azoto nei suoli e di trasporto verso le acque sotterranee e superficiali ai fini di una quantificazione dei contributi delle sorgenti. L'integrazione di Sistemi Informativi Territoriali (SIT), di modelli di simulazione e l'utilizzo di metodologie analitiche innovative hanno permesso di individuare le sorgenti di contaminazione e l'apportionamento dei loro contributi con adeguata confidenza.

Per quanto riguarda le metodologie analitiche, si è scelto di utilizzare un approccio basato sull'identificazione delle abbondanze isotopiche (cioè di elementi con lo stesso numero di protoni ma diverso numero di neutroni) di azoto e ossigeno presenti nella molecola di nitrato. Tale approccio ha offerto un mezzo diretto di identificazione delle sorgenti, sfruttando il fatto che sorgenti diverse di nitrati hanno spesso composizione isotopica dell'azoto (N) e dell'ossigeno (O) diversa e caratteristica. Il campo di variazione della composizione isotopica dell'azoto, riportato da numerosi lavori in letteratura, è compreso tra -20 e 30 ‰. In questo intervallo i fertilizzanti azotati hanno una composizione isotopica compresa tra -5 e 5 ‰, mentre valori compresi tra 3 e 25 ‰ caratterizzano i liquami di origine zootecnica e di origine civile. I nitrati provenienti dall'utilizzo di fertilizzanti sintetici possono quindi essere differenziati dai nitrati provenienti dagli scarichi civili e zootecnici. Inoltre, i processi biogeochimici che avvengono al suolo possono far variare i rapporti isotopici in maniera riconoscibile e/o prevedibile. In generale, l'isotopo più leggero (con massa minore) reagisce più velocemente di quello pesante, dando origine a prodotti isotopicamente più leggeri dei reagenti; nonostante ciò, i processi di trasformazione a carico dell'azoto che possono avvenire al suolo, producono frazionamenti isotopici non definibili su base matematica perché dipendenti da troppe variabili ambientali. Per tale ragione, oltre alla caratterizzazione isotopica delle sorgenti e delle acque da apportionare è stato fondamentale analizzare gli intervalli isotopici dell'azoto nitrico prodotto nei suoli dopo l'utilizzo delle suddette sorgenti. Tale fase di sperimentazione è stata condotta mediante l'analisi dello ione nitrato presente negli eluati dei suoli analizzati sia a priori dell'utilizzo delle sorgenti sia dopo trattamento; in tal modo le differenze registrate nel dato relativo all'isotopo pesante dell'azoto sono state attribuite all'arricchimento determinato dai processi di trasformazione che subisce l'azoto immesso al suolo (fattori di correzione delle impronte isotopiche delle sorgenti).

Per lo svolgimento della fase sperimentale prevista dallo studio, ISPRA e le ARPA hanno individuato sei aree, definite di taratura, caratterizzate da tipologie di sorgenti note in cui sono state investigate la composizione isotopica delle sorgenti, delle acque superficiali e sotterranee e dei suoli. I dati ottenuti in queste aree hanno permesso di valutare i valori di fondo dei nitrati presenti nelle aree d'indagine e l'influenza dei principali processi chimico-fisici sul frazionamento isotopico. Contemporaneamente alle indagini nelle aree di taratura sono state effettuate indagini in ottantaquattro aree definite vulnerate, ossia caratterizzate da concentrazioni di nitrato per lo più derivanti da contributo misto, individuate dalle ARPA partecipanti al progetto in accordo con le rispettive regioni. La scelta di finalizzare l'applicazione della metodologia isotopica in aree a contributo misto (analisi delle pressioni) è finalizzata a ridurre l'incertezza legata alla potenziale prevalenza di una sorgente rispetto alle altre in termini di impatto.

In particolare l'elaborazione dei dati sperimentali per la determinazione dell'apportionamento dei nitrati in falda è stata condotta applicando un modello matematico di miscelamento isotopico (SIAR). Il SIAR è basato sulla risoluzione di un sistema sottodeterminato di equazioni lineari mediante l'utilizzo di tecniche di statistica bayesiana, e restituisce i valori dei contributi proporzionali sotto forma di distribuzione di probabilità (valori di tendenza centrale e intervalli di confidenza).

I risultati dell'applicazione del modello SIAR hanno confermato che l'origine dei nitrati nelle aree indagate è da imputarsi a un contributo misto di differenti fonti. Attraverso l'applicazione del modello è stato possibile inoltre quantizzare, seppur in alcuni casi con un'incertezza del dato fino al 40%, i singoli contributi. In particolare, in riferimento alle aree indagate, si è evidenziato che il contributo derivante dalle attività agricole

è maggiore di quello imputabile alla pressione civile (almeno nelle acque sotterranee) e che il contributo imputabile alla fertilizzazione minerale è generalmente più alto di quello legato alla fertilizzazione zootecnica. Inoltre, in seguito allo studio condotto, è stata evidenziata la presenza di un certo contributo di origine naturale (fondo) ovvero derivante dai processi di mineralizzazione della sostanza organica naturalmente presente nei suoli.

È da tenere ben presente che le aree sperimentali indagate rappresentano il 3% della superficie dell'intero territorio e che tali risultati sono da considerarsi preliminari, in quanto data la complessità del sistema indagato sarà necessario aumentare la numerosità sia dei dati relativi alle sorgenti sia dei dati relativi ai suoli ovvero ai fattori di correzione delle sorgenti. Infine sarà necessario aumentare la frequenza del monitoraggio dei punti da indagare isotopicamente.

Valutazione dei servizi ecosistemici persi con il consumo di suolo. Il progetto LIFE+ SAM4CP

Il consumo di suolo è l'effetto della profonda trasformazione del territorio italiano negli ultimi decenni, con un'urbanizzazione diffusa che riguarda zone sempre più ampie del Paese, spingendosi oltre i margini delle principali aree urbane con la conseguente perdita di confine tra città e campagna e un'evidente frammentazione del paesaggio. Sono proliferati e continuano ad avanzare gli spazi trasformati profondamente per la costruzione di edifici e infrastrutture, con una conseguente perdita dei suoli spesso irreversibile. Come evidenziato dai recenti dati pubblicati da ISPRA (Munafò et al., 2015), in termini assoluti, il consumo di suolo ha riguardato circa 21.000 chilometri quadrati, pari al 7% del suolo nazionale, con le principali componenti del consumo rappresentate da infrastrutture di trasporto (41%) e da edifici (30%). Considerando anche gli effetti che l'impermeabilizzazione di una porzione di suolo produce nell'intorno in termini di effetti indiretti e di disturbo, la disponibilità di suolo libero e di qualità si dimostra ancora più compromessa. Stimando la superficie effettivamente disturbata dalla presenza di coperture impermeabili come quella a una distanza di 100 m dalle aree costruite, la superficie effettivamente coinvolta, indicatore della portata del disturbo provocato dal consumo di suolo, è risultata essere il 54,9% della superficie nazionale.

A livello scientifico, istituzionale e politico sono ormai noti i problemi prodotti da un eccessivo consumo del suolo e il dibattito si sta concentrando sull'efficacia della valutazione e sulle possibili strategie per limitare e affrontare gli impatti prodotti. Tra i temi oggetto di attenzione vi sono i servizi ecosistemici del suolo. Le amministrazioni locali, sede delle principali decisioni che influenzano il consumo di suolo, si trovano spesso ad affrontare la questione della perdita di tali servizi con poca consapevolezza e con strumenti conoscitivi inadeguati. Lo sviluppo di sistemi di valutazione può essere, quindi, un efficace supporto alle decisioni politiche dal livello nazionale a quello locale.

Come richiamato già dal Rapporto sullo stato dell'ambiente europeo (EEA, 2010), nelle aree dove viene mantenuta una buona qualità degli ecosistemi e valorizzati quindi i servizi ecosistemici (SE), il territorio e la comunità umana che vi risiede sono più resilienti e meno vulnerabili. L'approccio ecosistemico si presenta come una strategia conoscitiva e interpretativa interdisciplinare, capace di supportare le decisioni delle amministrazioni locali, e al contempo per riconfigurare le modalità di governo del territorio in una direzione più sostenibile. Una pianificazione del territorio che integri nei propri processi di decisione una valutazione dei benefici ambientali assicurati dal suolo libero, può garantire alla collettività, di conseguenza, una riduzione consistente del consumo di suolo, ma anche, in molti casi, un risparmio complessivo.

La tutela del capitale naturale è uno dei cardini per la sostenibilità della vita dell'uomo sulla terra (a partire da Rio 1992, poi la Strategia sulla biodiversità e oggi fino a Orizzonte 2020), pertanto la valutazione dei benefici offerti da questo capitale, attraverso l'identificazione degli ecosistemi e dei servizi che producono, è una delle sfide che la conoscenza scientifica e la pratica gestionale avranno di fronte nei prossimi anni. Il concetto di servizi ecosistemici è stato oggetto di un crescente interesse per le sue applicazioni alla gestione a livello globale (*Millennium Ecosystem Assessment* (MEA), 2005; TEEB, 2010) e negli ultimi anni anche alla scala della pianificazione locale con un crescente numero di esempi applicativi e casi studio. Alcune sistematizzazioni aiutano a far convergere gli sforzi della ricerca scientifica, tra cui si richiamano i programmi TEEB (USA) e MAES (JRC/CE), nonché le esperienze applicative prodotte da alcuni progetti europei.

In questo contesto, e con specifica attenzione ai servizi ecosistemici forniti dal suolo, si inserisce il lavoro di ricerca di ISPRA che, nell'ambito del progetto LIFE+ SAM4CP, coordinato dalla Città metropolitana di Torino, vedrà coinvolti alcuni comuni impegnati nella revisione dei propri strumenti di pianificazione. Questo risponde all'esigenza condivisa di rafforzare le capacità del decisore e del pianificatore locale nell'uso di approcci e strumenti di valutazione ambientale, i cui temi sono spesso considerati ancora oggi come accessori della pianificazione territoriale.

In questo progetto ISPRA ha la responsabilità di un'azione dedicata all'analisi e selezione delle metodologie di valutazione dei sette tra i principali servizi ecosistemici resi dal suolo libero (immagazzinamento di carbonio, biodiversità, impollinazione, conservazione dei nutrienti, erosione, produzione di legname e pro-

duzione agricola) per la componente biofisica, sia in termini di modellistica direttamente utilizzabile sia in termini di capacità di aprire a nuovi modi di affrontare il tema dello sviluppo urbano e della pianificazione territoriale. L'obiettivo è valutare e quantificare per comprendere come i benefici prodotti potrebbero variare in base ai cambiamenti di uso del suolo.

La valutazione dei servizi ecosistemici del suolo è certamente un tema di frontiera, poiché storicamente il suolo è stato spesso considerato solo per la sua funzione agricola e produttiva, tralasciando il valore multifunzionale di questa scarsa e non rinnovabile risorsa. Alcuni autori hanno da tempo evidenziato questi ruoli chiave del suolo, che vanno oltre la sua funzione produttiva: per esempio, Daily et al. (1997) e Wall et al. (2004) li descrivono nel dettaglio, sottolineando, ad esempio, il ruolo che hanno i suoli nella crescita della vegetazione, nella riduzione delle alluvioni e nel riciclo dei rifiuti. Un suolo può a tutti gli effetti essere considerato un bene molto prezioso che si forma in migliaia di anni ma in grado di distruggersi in brevissimo tempo (Daily, 1997). I servizi selezionati sono congruenti con le diverse classificazioni riportate in letteratura dalle quali emergono i seguenti ruoli, fondamentali e comuni nella fornitura di "servizi" forniti dal suolo (Dominati et alii, 2010):

- fertilità: il ciclo dei nutrienti assicura fertilità al terreno e allo stesso tempo il rilascio di nutrienti necessari per la crescita delle piante;
- filtro e riserva: il suolo può funzionare da filtro nei confronti degli inquinanti e può immagazzinare grandi quantità d'acqua utile per le piante e per la mitigazione delle alluvioni;
- strutturale: i suoli rappresentano il supporto per le piante, gli animali e le infrastrutture;
- regolazione del clima: il suolo, oltre a rappresentare il più grande *sink* di carbonio, regola l'emissione di importanti gas serra (N_2O e CH_4);
- conservazione della biodiversità: i suoli sono un immenso serbatoio di biodiversità; rappresentano l'*habitat* per migliaia di specie in grado di impedire l'azione di parassiti o facilitare lo smaltimento dei rifiuti;
- risorsa: i suoli possono essere un importante fonte di approvvigionamento di materie prime.

Tenuto presente quanto sopra e che la dimensione spaziale è imprescindibile nella pianificazione, è necessario considerare non solo SE direttamente forniti dal suolo come ecosistema, che sono in ogni caso prevalenti, ma anche i servizi forniti da tutti gli altri ecosistemi presenti o correlati con l'unità di superficie considerata. Si forma dunque una ipotesi di lavoro: nel quadrato di suolo "unitario" si fanno convergere le quote di tutti i SE connessi e si usano la superficie come misura. Questo è uno degli approcci alla base dei modelli spazialmente espliciti di valutazione dei SE.

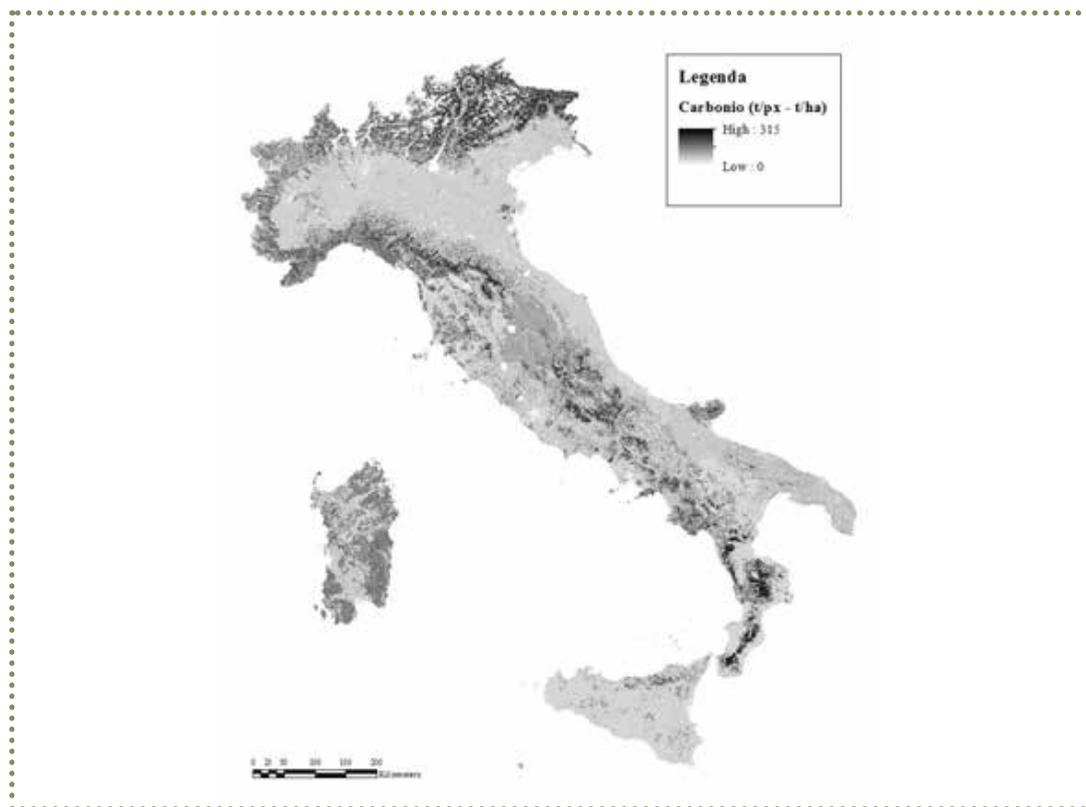
A seguito di un confronto preliminare tra diversi tools di valutazione dei SE (InVEST, ARIES, MIMES, LUCI, TESSA) è stato selezionato come più promettente il *software* InVEST (*Integrated Valuation of Ecosystem Services and Tradeoffs*), un insieme di modelli che richiede dati di *input* specifici a seconda del servizio ecosistemico analizzato ma partendo da un dato di partenza comune rappresentato dalla mappa di uso e copertura del suolo. Sviluppato dall'Università di Stanford all'interno del "*Natural Capital Project*", InVEST copre tutte le richieste di valutazione dei SE stabiliti nel progetto a esclusione della produzione agricola, modello disponibile in passato in versione beta ma successivamente rimosso. Non essendo disponibile un modello di InVEST sull'agricoltura, sono stati dunque indagati alcuni *tool* (APES, APSIM, EPIC/ARCAPEX) specifici sul tema (Adam et al. 2010). Tra questi, l'unica piattaforma correttamente funzionante e che considera nel processo di modellizzazione input spazialmente riferiti, è risultata la piattaforma EPIC/ARCAPEX (*Agricultural Policy/Environmental eXtender*), in corso di valutazione.

Ecosystem Service	InVEST Model
Immagazzinamento e assorbimento di carbonio	<i>Carbon Storage and Sequestration: Climate Regulation</i>
Biodiversità	<i>Habitat Quality</i>
Purificazione dell'acqua e conservazione dei nutrienti	<i>Nutrient Retention: Water Purification</i>
Controllo e mitigazione della perdita di suolo per erosione	<i>SDR Model</i>
Produzione di legname	<i>Managed Timber Production</i>
Impollinazione	<i>Pollinator Abundance: Crop Pollination</i>

Le prime applicazioni del modello InVEST sono relative ai modelli “*Carbon Storage and Sequestration*” e “*Habitat Quality*”.

“*Carbon Storage and Sequestration*” fornisce mappe della quantità di carbonio organico immagazzinato (in tonnellate su pixel) rispetto a ogni categoria di uso del suolo, secondo i valori relativi alla quantità di carbonio contenuta nei quattro principali pools presenti in natura e riconosciuti dall'*Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC): biomassa epigea, biomassa ipogea, suolo e sostanza organica morta. I dati vanno inseriti tramite una tabella in formato CSV, dove la virgola rappresenta il separatore delle colonne e il punto quello dei decimali.

Figura 1: Quantitativo totale del carbonio immagazzinato nella biomasse epigea/ipogea e nel suolo



Fonte: ISPRA

Per le categorie forestali di uso del suolo, i valori in ingresso di carbonio sono stati ricavati partendo dalle tabelle sui volumi di provvigione pubblicate dal Corpo Forestale dello Stato nell'Inventario Nazionale delle Foreste e dei Serbatoi Forestali di Carbonio (INFC). Da questi volumi sono stati calcolati i contenuti di carbonio nei quattro *pool* richiesti tramite applicazione di apposite metodologie e coefficienti di conversione (Vitullo et al., 2007) (NIR, 2012). Per le altre categorie (urbanizzato e agricolo), i dati per la biomassa epigea, ipogea e per la sostanza organica morta sono state dedotte grazie a un'approfondita analisi bibliografica, per il carbonio contenuto nel suolo sono state invece intersecate le mappe di uso e copertura e quelle pubblicate all'interno del progetto SIAS (Sviluppo Indicatori Ambientali sul Suolo) a livello regionale. I dati ottenuti sono stati testati, come esempio, a livello nazionale, utilizzando la mappa di uso del suolo sviluppata dal progetto *CORINE Land Cover* (CLC) rasterizzata a 100m (Figura 1).

"*Habitat Quality*" è, invece, il modello associato come *proxy* per la valutazione del livello di biodiversità e i rischi di degrado a essa connessi. Genera due mappe (TIFF) che rappresentano la qualità degli *habitat* e il loro livello di degrado. Il valore associato a ogni cella è in relazione alle altre celle dell'area che viene presa in considerazione e non ha unità di misura ma esprime un valore relativo da 0 a 1, che permette, quindi, semplicemente di fare analisi di tipo comparativo tra pixel diversi. Per funzionare, il modello necessita (oltre alla carta di uso e copertura del suolo) di una carta *raster* per ogni minaccia, di una tabella con la distanza di impatto e la pressione sugli *habitat* delle minacce e di un'ulteriore tabella che associ a ogni categoria di uso e copertura del suolo la sua idoneità a essere considerata "*habitat*" (da 0, non *habitat*, a 1, *habitat*). Il concetto di *habitat* può essere inteso come *habitat* legato alla presenza di una determinata specie o in senso generale come ambiente idoneo alla presenza di diversi organismi vegetali ed animali, quindi aspecifico. È stato eseguito un *test* a livello locale del modello: il CLC è stato utilizzato come mappa di uso del suolo, le zone urbanizzate della mappa *Urban Atlas* come minacce e le categorie forestali del CLC come *habitat*. Il *test* ha avuto esito positivo ma poco rappresentativo. Per un miglior uso a scala locale si sta analizzando la possibilità di utilizzare una mappa di uso e copertura del suolo più dettagliata e la Carta della Natura 1:50.000 (dove disponibile e in mancanza di dati più particolareggiati sugli *habitat*). In conclusione, il progetto SAM4CP permetterà di realizzare un quadro di analisi utile alle Amministrazioni locali e ai pianificatori nella scelta delle opzioni di governo del territorio più adatte al caso specifico, utilizzabile come base di riferimento per lo sviluppo di casi studio. In particolare, l'interesse si concentra sulla valutazione dei servizi eco sistemici connessi ai diversi scenari di *land cover change* da non-urbano a urbano (più o meno discontinuo), prendendo in considerazione non solo i servizi forniti direttamente dal suolo ma anche di quelli il cui valore e condizione sono influenzati dai cambiamenti di utilizzo del territorio e che subiscono impatti significativi in conseguenza di un consumo eccessivo di suolo.

Glossario

Desertificazione:

Degrado delle terre nelle aree aride, semi-aride, sub-umide, secche e in altre aree soggette a inquinamento chimico, salinizzazione ed esaurimento di falde idriche oltre che a condizioni di inefficienza nella gestione dei suoli, attribuibile a varie cause tra le quali le variazioni climatiche e le attività antropiche.

Sostanza organica:

Insieme dei materiali d'origine organica, principalmente vegetale, provenienti dalla flora naturale o dalle concimazioni e accumulatosi soprattutto negli orizzonti superficiali del profilo pedologico. Dalla trasformazione di questi materiali prende origine l'humus.

Territorio:

Porzione della superficie terrestre le cui caratteristiche comprendono tutti gli attributi della biosfera, della geosfera e i risultati dell'attività umana presente e passata. Assume anche significato politico-amministrativo (es.: politica del territorio, pianificazione del territorio, assetto territoriale).

Runoff (Ruscellamento superficiale):

Fenomeno di scorrimento delle acque piovane sulla superficie del terreno dovuto al superamento della capacità di infiltrazione delle acque a causa della saturazione del suolo o per eccesso di portata delle piogge. Rappresenta una parte fondamentale del ciclo idrologico e il principale agente dell'erosione dei suoli.

Elementi nutritivi:

Qualsiasi elemento assorbito dalle piante ed essenziale per il loro sviluppo. I principali nutrienti sono azoto, fosforo, potassio, calcio, magnesio, zolfo, ferro, manganese, rame, boro e zinco tra quelli ottenibili dal suolo e carbonio, idrogeno e ossigeno tra quelli ottenibili dall'aria e dall'acqua.