

SUOLO E TERRITORIO

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 il legislatore non aiuta a far chiarezza anzi, fornendo una definizione omnicomprensiva di suolo (suolo: il **territorio**, il suolo, il sottosuolo, gli abitati e le opere infrastrutturali), e intendendo essenzialmente con la dizione “difesa del suolo” la protezione del territorio dalla pericolosità geologico-idraulica¹, alimenta la dissonanza con quanto generalmente inteso, con gli omonimi termini, a livello continentale. 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”² 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”³.

Insieme con aria e acqua, il suolo è, quindi, essenziale per l’esistenza delle specie viventi presenti sul Pianeta ed esplica una serie di funzioni che lo pongono al centro degli equilibri ambientali.

Esso svolge 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 la biomassa vegetale 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.

Il suolo fornisce gli elementi necessari per il sostentamento alle società umane che, di contro, lo trattano troppo spesso come un contenitore degli scarti della produzione umana oppure un mezzo da sfruttare con una scarsa consapevolezza degli effetti derivanti dalla perdita delle sue funzioni.

¹ D.Lgs. 152/06, Art. 54. Difesa del suolo: il complesso delle azioni e attività riferibili alla tutela e salvaguardia del territorio, dei fiumi, dei canali e collettori, degli specchi lacuali, delle lagune, della fascia costiera, delle acque sotterranee, nonché del territorio a questi connessi, aventi le finalità di ridurre il rischio idraulico, stabilizzare i fenomeni di dissesto geologico, ottimizzare l’uso e la gestione del patrimonio idrico, valorizzare le caratteristiche ambientali e paesaggistiche collegate

² Commissione delle Comunità Europee (2006) - Strategia tematica per la protezione del suolo. COM(2006)231 definitivo

³ Soil Conservation Society of America (1986)

Nonostante i fondamentali servizi che fornisce agli ecosistemi il suolo 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'incuranza 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 da subito 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 situazione italiana

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* e, quindi, miranti a coniugare i fabbisogni e le esigenze della comunità (fattori socio-economici), in termini anche di sicurezza, con la gestione oculata e rispettosa del patrimonio naturale e delle risorse a esso associate (fattori ambientali). 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 informazioni sui suoli a livello nazionale possono godere oramai di una lunga storia, ma è solo a partire dagli anni '90 che numerose regioni italiane hanno iniziato sistematicamente a raccogliere i dati e a produrre cartografie e banche dati. Malgrado la ricchezza, anche se non uniformemente distribuita, di dati sul suolo, essi presentano, anche a causa della carenza di coordinamento a livello centrale, un certo grado di disomogeneità interregionale che limita, in molti casi, la possibilità di giungere a sintesi nazionali organiche.

Nell'attuale quadro economico, il riutilizzo dei dati esistenti prodotti da autorità pubbliche è diventato non solo un obbligo normativo ma anche un imperativo morale.

Il limite posto dalla disomogeneità può essere superato solo attraverso specifici progetti, non sempre semplici da realizzare, di armonizzazione delle informazioni disponibili. I dati riportati vanno quindi considerati, in buona parte, come approssimazioni elaborate a livello nazionale, in via di progressivo arricchimento.

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

Il carbonio organico (OC - *Organic Carbon*) costituisce circa il 60% della **sostanza organica** presente nei suoli e 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 compattamento, 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 stoccato nei suoli rappresenta la base di partenza per definire il ruolo che può avere nel calcolo degli assorbimenti di gas serra.

Il carbonio organico svolge una funzione positiva essenziale su molte proprietà del suolo.

Secondo i dati del *Joint Research Centre* (JRC), i suoli UE contengono oltre 70 miliardi di tonnellate di OC equivalenti a circa 50 volte le emissioni annue europee di gas a effetto serra⁴.

La conoscenza del contenuto di OC nei suoli italiani costituisce quindi un elemento di grande rilievo per determinarne lo stato. Per esempio, per quanto riguarda i suoli agrari, in relazione alla natura dei suoli e delle aree climatiche italiane, un livello di OC pari all'1,2% (equivalente al 2% circa di sostanza organica) nella maggior parte delle situazioni pedoclimatiche è in grado di garantire il mantenimento delle proprietà fondamentali del terreno⁵, quali il rifornimento di elementi nutritivi per le piante, la formazione degli aggregati organo-minerali, la capacità di ritenzione dell'acqua e molte altre funzioni importanti per la vita dei microrganismi e delle piante.

Nei suoli agrari italiani, un livello di OC pari all'1,2% è considerato sufficiente per garantire il mantenimento delle proprietà fondamentali del terreno.

La Figura 9.1 rappresenta la distribuzione europea della percentuale di carbonio organico nei primi 30 cm di suolo. La carta è stata elaborata dal JRC utilizzando i dati dell'*European Soil Database* in combinazione con altri *database* associati relativi a clima, uso del suolo e topografia. Per quanto riguarda i suoli italiani, buona parte di quelli di pianura e della collina coltivata presentano concentrazioni di carbonio organico comprese tra l'1% e il 2%, caratteristiche dei sistemi di coltivazione a seminativo; mentre per i suoli di collina non coltivata e montagna la concentrazione di carbonio è compresa tra il 2% e il 5% (localmente tra il 5% e il 10%). È evidente il diverso livello di equilibrio nel bilancio del carbonio tra gli ambienti Centro-Nord europei e quelli mediterranei, dovuto alle diverse condizioni climatiche: nei primi prevale una conservazione del carbonio nel suolo per effetto delle più basse velocità di degradazione della sostanza organica e il conseguente suo accumulo nel suolo, mentre nei secondi le trasformazioni della sostanza organica sono più veloci perché favorite dalle più elevate temperature e quindi il livello di carbonio riscontrabile nei suoli è decisamente inferiore.

⁴ Commissione delle Comunità Europee (2012) – *Attuazione della strategia tematica per la protezione del suolo*. COM (2012) 46 final

⁵ Consiglio per la Ricerca e la sperimentazione in Agricoltura- Centro di ricerca per l'agrobiologia e la pedologia e Centro di Ricerca per lo sviluppo delle relazioni fra pianta e suolo

La Figura 9.2 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).

Tale progetto coordinato da ISPRA e ARPA Veneto vede la partecipazione dei Servizi Pedologici regionali, dei centri di ricerca del CRA (ABP e RPS) e del JRC-IES e ha l'obiettivo di realizzare una cartografia armonizzata di alcuni indicatori relativi al suolo, basandosi su di un formato comune e condiviso, in accordo con le specifiche della Direttiva INSPIRE. Il progetto si basa sulla raccolta, revisione e armonizzazione dei dati presenti nei *database* regionali. Il riutilizzo dei dati esistenti ha comunque generato alcune discrasie 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.

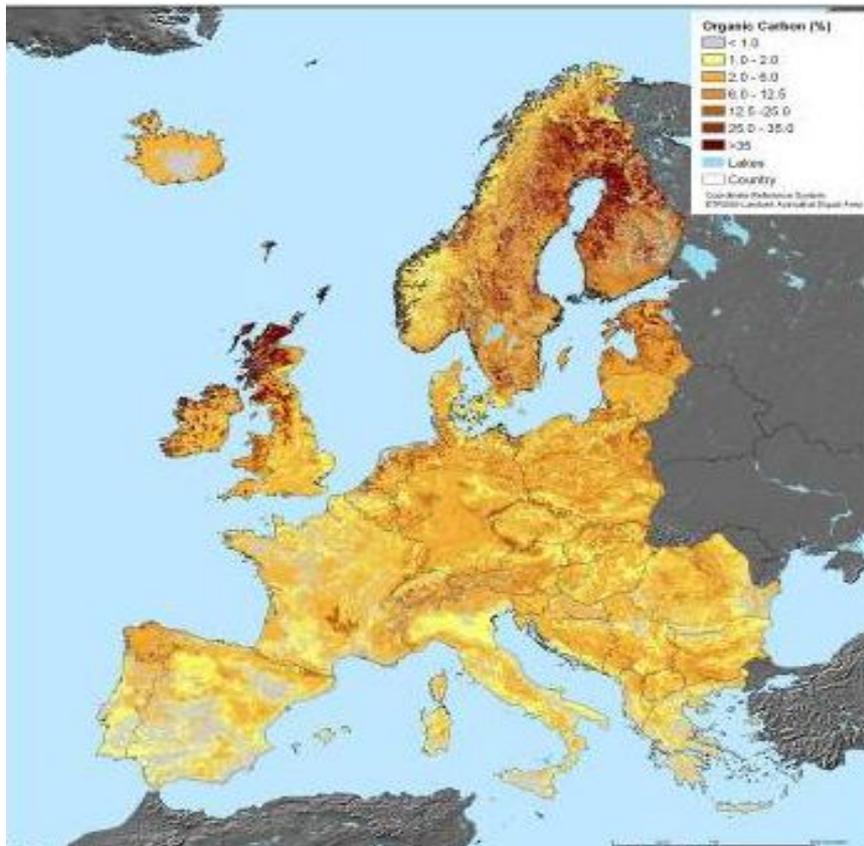
Come si evince dalla Figura 9.3, in Italia, i suoli della pianura e della collina coltivata rientrano principalmente nelle classi 25-50 t/ha e 50-75 t/ha, mentre i suoli delle aree collinari-montane, con prevalenza di sistemi vegetali naturali, ricadono soprattutto nelle classi 75-100 e 100-125 t/ha.

Un ulteriore studio sullo *stock* di OC nei suoli italiani coltivati, eseguito nell'ambito del progetto *CarboItaly* utilizzando i dati raccolti con l'iniziativa SIAS, ha evidenziato che la quantità di carbonio organico presente nei suoli coltivati italiani varia in modo significativo tra diverse regioni climatiche e differenti pedopaesaggi, andando dai 41,9±15,9 t/ha dei vigneti, ai 53,1±17,3 dei seminativi, ai 63,3±27,9 t/ha delle risaie, con una lieve diminuzione procedendo dalle regioni più temperate a quelle mediterranee.

Sulla base delle medie calcolate per ogni area omogenea e delle superfici risultate dal Censimento ISTAT 2000, il carbonio organico complessivamente stoccato nei suoli italiani ammonta a 490,0±121,7 milioni di tonnellate.

Considerando i suoli coltivati, il contenuto medio nazionale stimato è pari a 52,1±17,4 t/ha, simile a quello riportato per altri Paesi europei (50-60 t/ha).

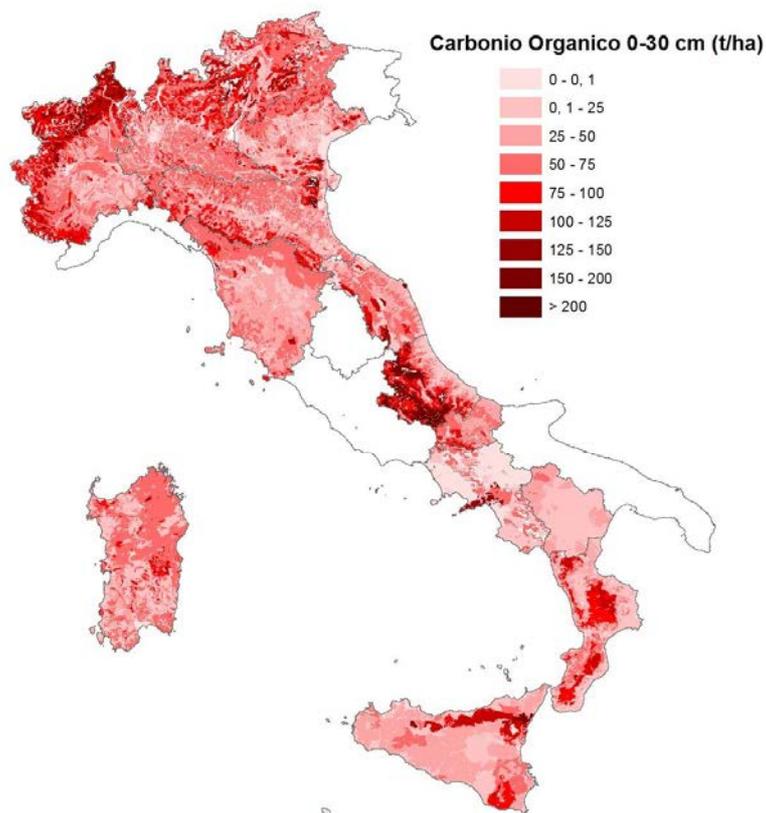
Il progetto SIAS ha l'obiettivo di realizzare una cartografia armonizzata di alcuni indicatori relativi al suolo, basandosi su di un formato comune e condiviso, in accordo con le specifiche della Direttiva INSPIRE. Il progetto si basa sulla raccolta, revisione e armonizzazione dei dati presenti nei database regionali



L'elaborazione effettuata sulla base dei dati disponibili a livello europeo mostra come i suoli italiani presentino, nelle aree di pianura e collina coltivate a seminativo, tenori di carbonio organico prevalentemente compresi tra l'1 e il 2%.

Figura 9.1: Contenuto in percentuale di carbonio organico (OC) negli orizzonti superficiali dei suoli europei⁶

⁶ Fonte: JRC



I risultati preliminari del progetto SIAS hanno consentito di elaborare una cartografia di maggior dettaglio ottenuta tramite l'armonizzazione, secondo un formato di scambio comune e condiviso, delle informazioni in possesso dei Servizi Regionali per il Suolo.

Figura 9.2: Contenuto in tonnellate per ettaro di OC negli orizzonti superficiali dei suoli italiani (2012)⁷

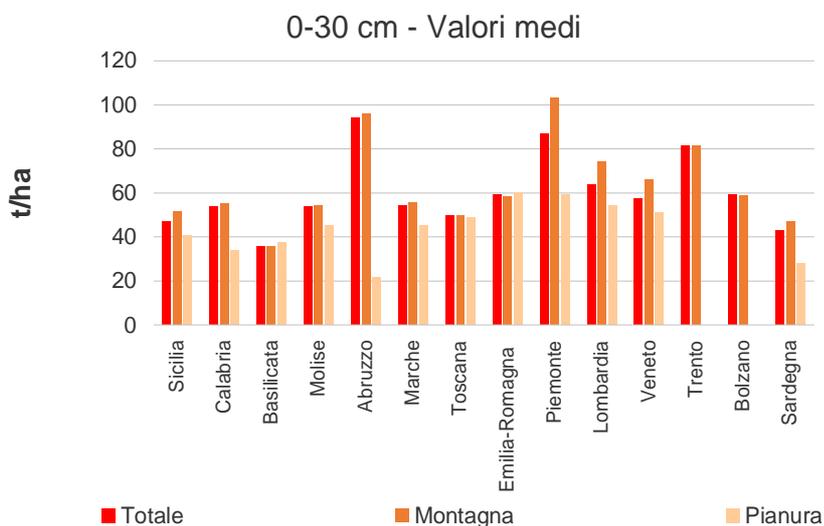


Figura 9.3: Contenuto medio di carbonio organico nelle aree di montagna e pianura nei primi 30cm di suolo⁸

⁷ Fonte: ISPRA, ARPAV e Servizi Regionali per il Suolo (Progetto SIAS)

⁸ Fonte: Ibidem

Il suolo svolge una fondamentale funzione protettiva dell'ambiente tramite un'azione di filtro e barriera che permette di mitigare gli effetti degli inquinanti. A proposito di quest'ultimo termine, in accordo con quanto proposto da Williamson (1973)⁹, si ritiene necessaria una precisazione: un contaminante è "ogni cosa che viene aggiunta all'ambiente che causa una deviazione dalla composizione geochimica media".

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

L'inquinante, per essere considerato tale, deve essere un contaminante responsabile di causare effetti nocivi all'ambiente, inteso in senso lato come unione delle parti naturale e antropica.

Il D.Lgs. 128/2010 definisce l'inquinamento come "l'introduzione diretta o indiretta, a seguito di attività umana, di sostanze, vibrazioni, calore o rumore o più in generale di agenti fisici o chimici, nell'aria, nell'acqua o nel suolo, che potrebbero nuocere alla salute umana o alla qualità dell'ambiente, causare il deterioramento dei beni materiali, oppure danni o perturbazioni a valori ricreativi dell'ambiente o ad altri suoi legittimi usi".

Quindi, nel caso di introduzione volontaria o accidentale di sostanze pericolose nel suolo, qualora queste superino le concentrazioni ritenute potenzialmente nocive, bisognerebbe parlare di inquinamento dei suoli e non di contaminazione.

I termini contaminazione del suolo, siti contaminati e bonifica dei siti contaminati, sono però entrati ormai nell'uso comune a indicare l'inquinamento e il recupero dei suoli, anche nella normativa sia nazionale (D.Lgs. 152/06) sia internazionale, e saranno pertanto utilizzati nel seguito del testo.

La contaminazione del suolo può determinare un'alterazione delle caratteristiche del suolo stesso, tali da comprometterne non solo le funzioni protettive ma anche quelle produttive ed ecologiche.

Le funzioni protettive, produttive ed ecologiche del suolo possono essere compromesse a seguito della sua contaminazione.

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.

Le conseguenze economiche sono legate soprattutto agli ingenti impegni finanziari necessari per la bonifica e il ripristino ambientale del suolo, ma anche alla perdita di valore delle aree contaminate, alla necessità di interventi su matrici ambientali che risentono in modo indiretto degli impatti della contaminazione sul suolo (in particolare le acque sotterranee) e al possibile rifiuto, da parte dei consumatori, di prodotti ottenuti dalla coltivazione di suoli inquinati.

Secondo i dati contenuti nella valutazione d'impatto (SEC(2006)1165) della Strategia tematica per la protezione del suolo (COM (2006) 231) condotta dai servizi della Commissione Europea, il costo annuo rappresentato dalla contaminazione del suolo è compreso in un range di 2,4-17,3 miliardi di euro.

⁹ Williamson S. J. (1973), *Fundamentals of Air Pollution*. Addison-Wesley, Reading, 472 pp.

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 contaminazione può essere circoscritta (puntuale) oppure interessare aree molto estese (diffusa).

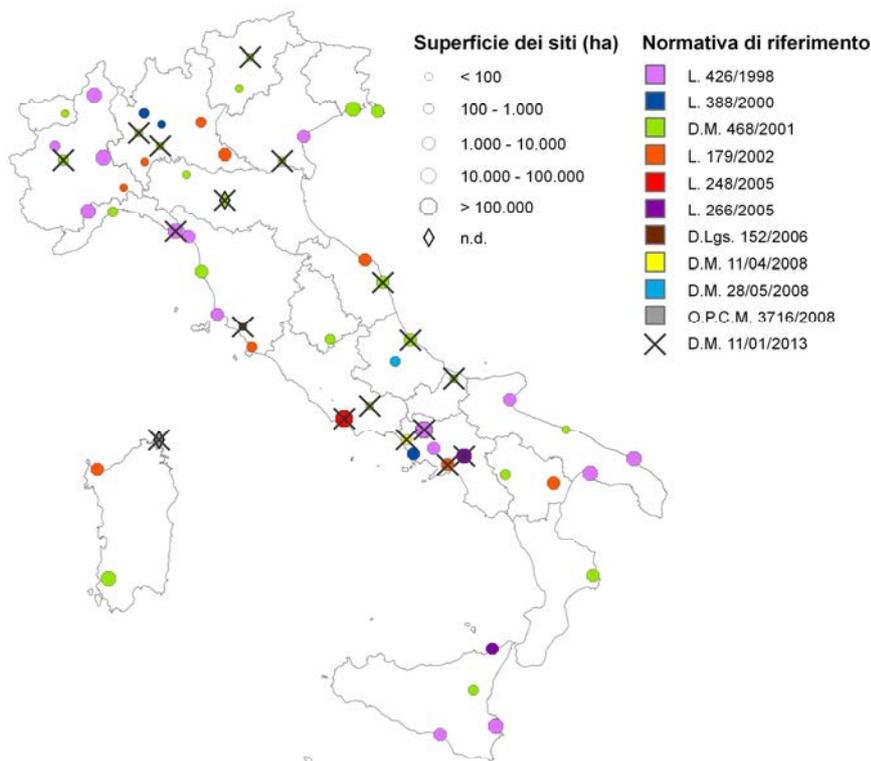
I Siti contaminati di Interesse Nazionale (SIN) sono stati definiti, tramite appositi atti normativi, sulla base delle caratteristiche del sito, della quantità e pericolosità delle sostanze inquinanti, della rilevanza del rischio sanitario ed ecologico, nonché del pregiudizio per i beni culturali e ambientali. Per tali siti, il procedimento di bonifica è sotto la responsabilità amministrativa del Ministero dell'ambiente e della tutela del territorio e del mare. Recentemente, con l'art. 36 bis della Legge 134 del 07 agosto 2012, si è provveduto alla razionalizzazione dei criteri di individuazione dei SIN.

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

In accordo a tale modifica normativa, la presenza attuale e/o pregressa di raffinerie, acciaierie e impianti chimici integrati è condizione necessaria affinché un sito possa essere identificato di interesse nazionale.

Viceversa la presenza di attività estrattive e/o produttive di amianto è una condizione sufficiente per individuare il sito come di interesse nazionale.

Sulla base di tali criteri è stata effettuata una ricognizione dei 57 siti attualmente classificati di interesse nazionale e, con il DM 11 gennaio 2013, il numero dei SIN è stato ridotto a 39 (Figura 9.4). La competenza amministrativa dei 18 siti che non soddisfano i nuovi criteri è tornata alle regioni.



I Siti di Interesse Nazionale si concentrano in aree soggette a elevato impatto antropico

Nota

Il DM 11/01/2013 ha ridotto il numero dei SIN da 57 a 39

Figura 9.4: Localizzazione, superficie e legislazione di riferimento dei Siti di Interesse Nazionale (2013)¹⁰

Oltre ai SIN, esistono poi diverse migliaia di siti contaminati o potenzialmente contaminati di competenza regionale che, sulla base della normativa vigente, dovrebbero essere inseriti in apposite “Anagrafi regionali dei siti da bonificare”.

Un aspetto particolare è rappresentato dai *brownfields*, siti abbandonati, inattivi o sotto-utilizzati che hanno ospitato in passato attività produttive, in genere industriali o commerciali, e per i quali il recupero è ostacolato da una situazione, reale o potenziale, di inquinamento storico. Tali siti sono spesso localizzati all’interno del territorio urbano e pertanto hanno un alto potenziale economico.

In Italia, le regioni con il maggior numero di *brownfields* sono quelle del Nord, in particolare Lombardia, Piemonte e Veneto dove, nei decenni passati, si è avuto il più intenso sviluppo industriale.

Il Centro-Sud si caratterizza, invece, per la presenza di poche ma estese zone industriali, testimoni di uno sviluppo concentrato in un limitato numero di aree.

Per quanto riguarda la contaminazione diffusa manca ancora un quadro omogeneo a scala nazionale, ma problemi legati al fenomeno sono presenti in quasi tutte le regioni italiane.

Concentrazioni elevate di metalli pesanti nei suoli sono presenti nelle vicinanze delle infrastrutture stradali (Pb), nei comprensori vinicoli (Cu) e nelle aree interessate da pratiche agricole.

I siti potenzialmente contaminati sono circa 32.000. Per 4.837 è stato accertato lo stato di contaminazione. Più di 3.088 sono i siti ad oggi bonificati.

Casi di contaminazione diffusa sono presenti in quasi tutte le regioni, ma ancora manca un quadro nazionale omogeneo.

¹⁰ Fonte: ISPRA

Relativamente all'inquinamento da nutrienti, i dati disponibili evidenziano *surplus* di azoto oltre che di fosforo praticamente in tutte le regioni italiane, con un *trend* in progressivo decremento. I valori più elevati si registrano nelle aree ad agricoltura intensiva, in particolare in alcune regioni della Pianura padana. Anche l'utilizzo agricolo dei fanghi di depurazione, sebbene abbia positivi riflessi come apporto di sostanza organica parzialmente stabilizzata e di macroelementi nutritivi presenti soprattutto in forma organica e dunque a lenta cessione, può generare problematiche di inquinamento dei suoli. I fanghi contengono, infatti, metalli pesanti che possono accumularsi nel suolo, anche se alcuni di essi (come rame e zinco) sono microelementi che, in dosi modeste, sono utili al ciclo dei vegetali. Sulla base dei dati ufficiali trasmessi alla CE dal MATTM, l'utilizzo dei fanghi di depurazione in agricoltura è aumentato del 49% nel periodo 1998-2009, attestandosi a 289.620 t di sostanza secca (tss). Nel 2009, il maggior impiego si è verificato in Lombardia (38%), Puglia (32%) ed Emilia-Romagna (18%) che assieme costituiscono l'88% del totale nazionale.

Secondo i dati ministeriali, l'apporto di sostanze inquinanti appare limitato e non supera mai, nel periodo 1998-2009, i valori limite imposti dalla legislazione nazionale ed europea.

Tra i fenomeni di degradazione fisica dei suoli grande rilevanza, ambientale ed economica, riveste il fenomeno dell'erosione idrica, cioè l'asportazione della parte superficiale del suolo, maggiormente ricca in sostanza organica, per mezzo 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.

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

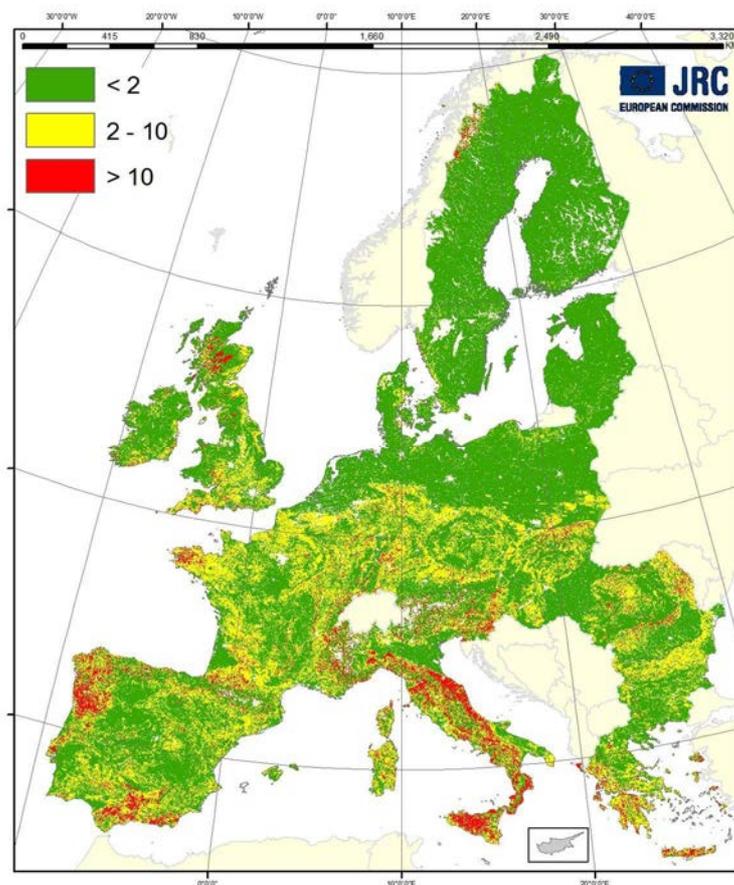
La limitazione di tali danni in molti casi richiede interventi correttivi che, soprattutto nei territori agricoli di pregio, possono essere economicamente molto rilevanti. Nella valutazione dell'erosione uno degli obiettivi prioritari dovrebbe essere, pertanto, la definizione del "tasso di erosione tollerabile". Tale valore (t/ha*anno) esprime la quantità di suolo che può essere perso mantenendo un buon livello produttivo. In ambito agricolo si può, ad esempio, cercare di contenere l'erosione entro certi limiti imposti da quel determinato ambiente pedologico, cosicché essa non sia superiore alla velocità di formazione del suolo (**pedogenesi**).

La valutazione della perdita di suolo viene effettuata tramite modelli sia empirici (es. USLE/RUSLE – *Universal Soil Loss Equation/ Revised USLE*) sia fisicamente basati (es. PESERA – *Pan European Soil Erosion Risk Assessment*). Pur risentendo delle approssimazioni dei dati utilizzati e della scarsità delle stazioni sperimentali di misura e validazione dei dati, le stime ottenute tramite la modellistica rimangono un riferimento per la programmazione europea e nazionale, soprattutto in tema di sviluppo rurale.

Secondo le stime ottenute con il modello RUSLE, la superficie interessata dal fenomeno nell'UE-27 è pari a 1,3 milioni di km², circa il 20% dei quali subisce una perdita di suolo superiore a 10t/ha/anno¹¹.

La percentuale aumenta nell'area mediterranea e si attesta intorno al 30% nel territorio italiano (Figura 9.5), dove la perdita di suolo raggiunge tassi molto elevati in occasione di eventi meteorici particolarmente intensi.

Un quadro più accurato, poiché basato sui dati di maggior dettaglio disponibili a livello locale, è comunque in via di realizzazione, tramite il già citato progetto SIAS di armonizzazione delle informazioni regionali (Figura 9.6).

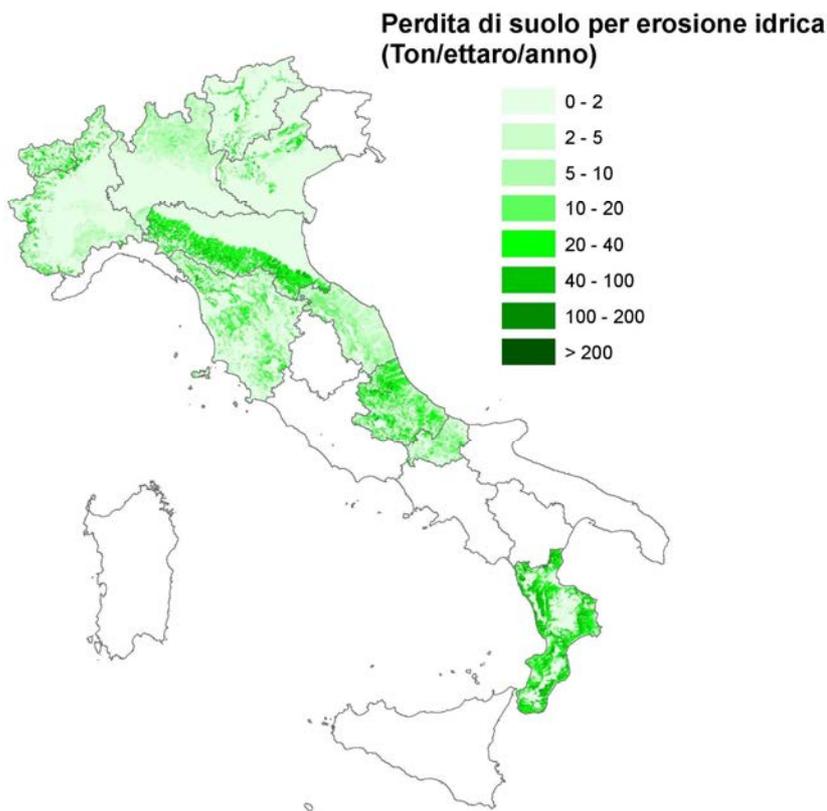


La perdita di suolo per erosione idrica è generalmente valutata tramite l'utilizzo di modelli la cui attendibilità è funzione dell'accuratezza dei dati di input. Pur offrendo un interessante quadro generale a livello europeo, queste stime possono fornire, in alcuni casi, risultati anche sostanzialmente diversi dagli elaborati nazionali/regionali.

Figura 9.5: Stima della effettiva perdita di suolo per erosione idrica secondo il modello RUSLE riclassificato con suddivisione in tre classi¹²

¹¹ Commissione delle Comunità Europee (2012) – *Attuazione della strategia tematica per la protezione del suolo*. COM (2012) 46 final

¹² Fonte: Elaborazione JRC in: Commissione delle Comunità Europee (2012) – *Attuazione della strategia tematica per la protezione del suolo*. COM (2012) 46 final



*Progetto SIAS:
armonizzazione dei
dati relativi alla
perdita di suolo per
erosione idrica a
partire dai dati
disponibili presso i
Servizi Regionali
per il Suolo,
utilizzando un
formato comune e
condiviso secondo i
criteri della
Direttiva INSPIRE.*

Figura 9.6: Stima della effettiva perdita di suolo per erosione idrica secondo il progetto SIAS (2012)¹³

Se la modellistica fornisce dati a volte contraddittori, ancora più difficile è una definizione quantitativa del *trend*. Il progressivo aumento delle aree boscate a scapito di quelle agricole, evidenziato dalle analisi relative alle variazioni dell'uso del suolo, 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.

Particolarmente diffuso, soprattutto nelle aree costiere, è il fenomeno della salinizzazione cioè l'accumulo, per cause naturali e antropiche, di sali nel suolo che possono giungere a un livello tale da compromettere l'attività vegetativa e produttiva delle colture e determinare effetti fortemente negativi per la biodiversità del suolo e per la resistenza dello stesso all'erosione.

Il fenomeno è considerato come uno dei principali fattori che

*La salinizzazione
consiste
nell'accumulo di
sali nel suolo in
quantità tali da
comprometterne le
funzioni vitali, ed è
considerata uno dei*

¹³ Fonte: ISPRA, ARPAV e Servizi Regionali per il Suolo (Progetto SIAS)

conducono alla **desertificazione** e, in Europa (EU27), il JRC stima che da 1 a 3 milioni di ettari siano interessati dal fenomeno.

Nel nostro Paese non è ancora disponibile una cartografia nazionale di dettaglio che dia conto delle caratteristiche e della distribuzione dei suoli salini.

Un'indagine conoscitiva ha messo in evidenza come questi risultino prevalentemente distribuiti nella bassa Pianura padana, in lunghi tratti del litorale tirrenico e adriatico, nella fascia costiera della Puglia, della Basilicata e della Sardegna e in ampi tratti della Sicilia (Figura 9.7). Elaborazioni più dettagliate sono state realizzate da diverse regioni.

fattori principali della desertificazione. In Europa (EU27) si stima che da 1 a 3 milioni di ettari siano interessati dal fenomeno.



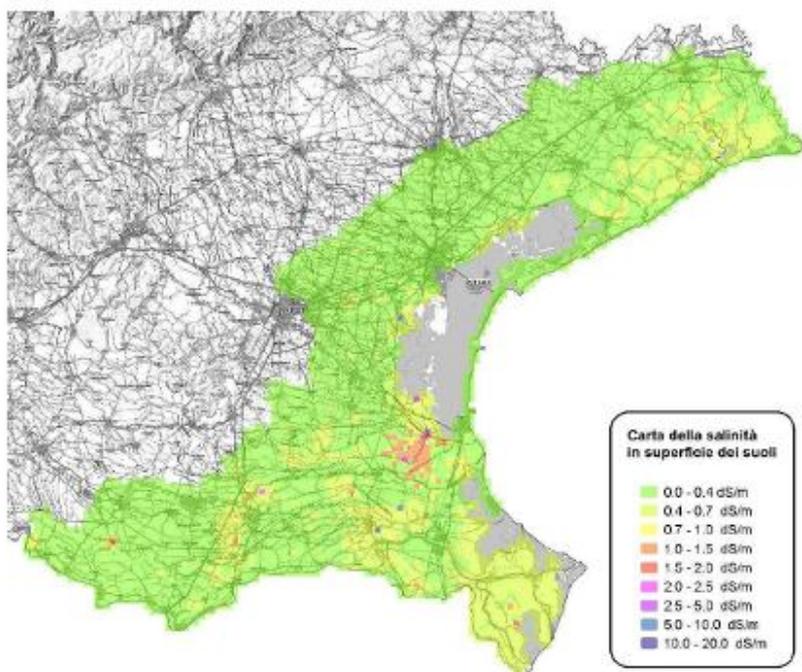
In Italia, i suoli salini sono prevalentemente distribuiti nella bassa Pianura padana, in lunghi tratti del litorale tirrenico e adriatico, nella fascia costiera della Puglia, della Basilicata e della Sardegna e in ampi tratti della Sicilia.

Figura 9.7: Distribuzione dei suoli salini (aree rosse) sul territorio nazionale ¹⁴

In Veneto il fenomeno è stato indagato in un'area distante mediamente 25 km dalla costa (Figura 9.8). I valori di conduttività elettrica sono stati elaborati a tre diverse profondità: **orizzonte** superficiale (0-50 cm), orizzonte profondo (50-100 cm) e substrato (superiore a 100 cm).

L'analisi dei dati ha evidenziato che la salinità, quando presente, è più alta negli orizzonti più profondi rispetto a quelli superficiali e che i valori maggiori si riscontrano nei suoli a elevato contenuto in sostanza organica (in particolare nelle aree palustri bonificate di Adige e Po).

¹⁴ Fonte: C. Dazzi, (2007), La salinizzazione. In: *Il suolo, la radice della vita*. APAT



In Veneto, la salinità è più alta negli orizzonti più profondi rispetto a quelli superficiali. Valori maggiori si riscontrano nei suoli a elevato contenuto in sostanza organica (in particolare nelle aree palustri bonificate di Adige e Po).

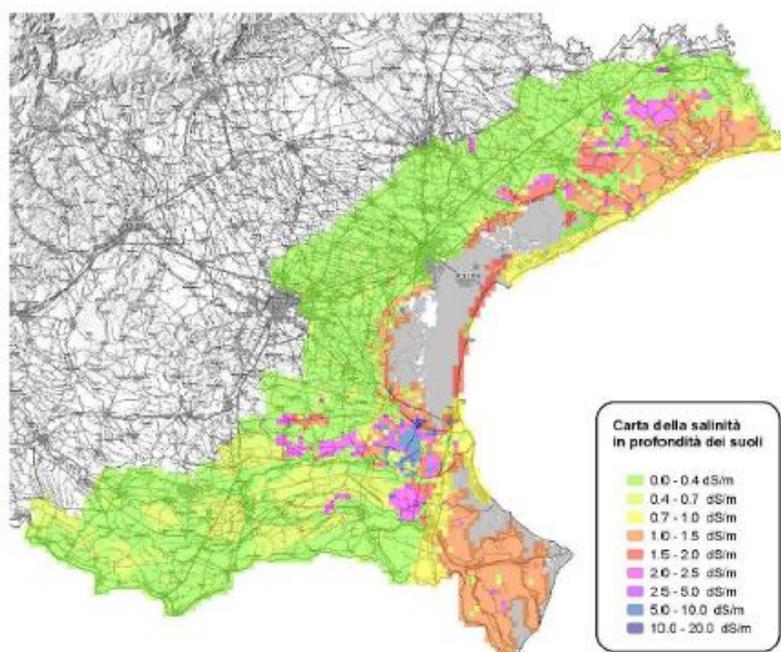


Figura 9.8: Carta della salinità dei suoli negli orizzonti superficiali (0-50 cm, in alto) e nel substrato (100-150 cm, in basso) dell'area costiera veneta¹⁵

Una misura dell'estensione e dell'intensità della salinità dei suoli delle aree agricole è stata realizzata anche dalla regione Sardegna (Figura 9.9), assieme a un modello di valutazione del rischio di salinizzazione. Tale valutazione ha permesso di identificare suoli che, pur non mostrando elevati valori di salinità al momento della misura, possono essere sottoposti a condizioni fisiche e ambientali favorevoli all'insorgenza del fenomeno.

¹⁵ Fonte: ARPAV e CNR-IRPI, 2008

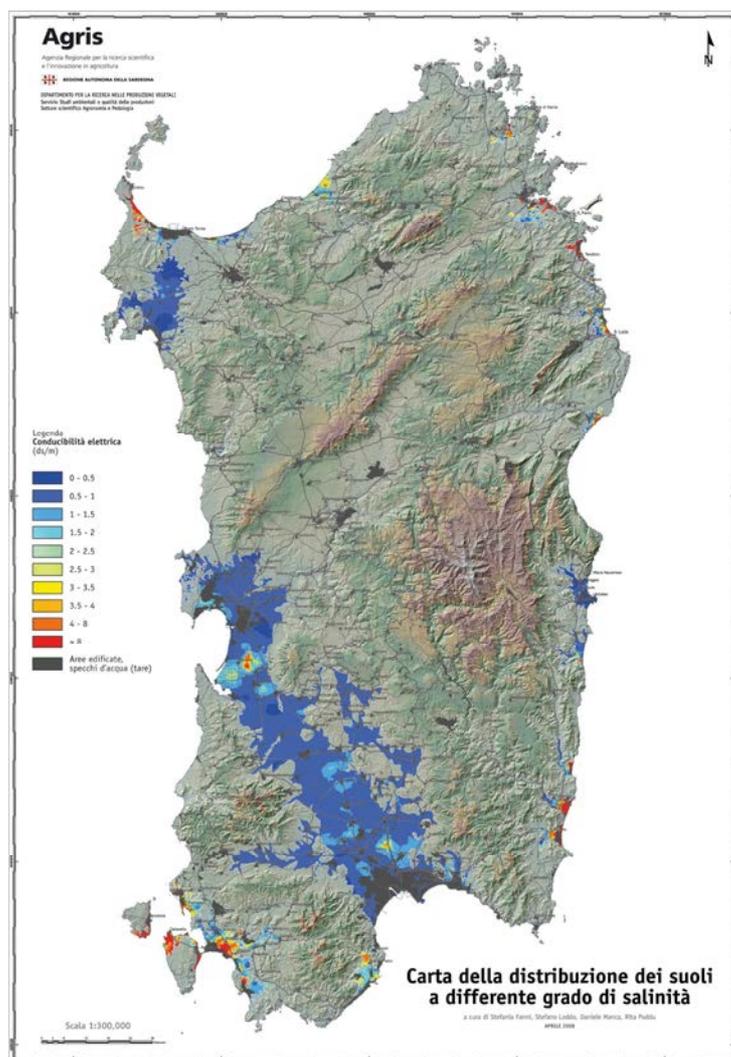


Figura 9.9: Carta della salinità dei suoli della regione Sardegna¹⁶

Le aree interessate da agricoltura intensiva possono essere soggette all'instaurarsi di fenomeni di compattazione del suolo. La compattazione, dovuta principalmente all'utilizzo delle macchine agricole, può essere definita come la compressione delle particelle del suolo in un volume minore a seguito della riduzione degli spazi esistenti tra le particelle stesse. 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 compattato 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*).

I frequenti ristagni nelle aree di pianura in occasione di precipitazioni intense e concentrate e le superfici di scivolamento di frane superficiali in corrispondenza di strati compattati lungo il profilo del

Il fenomeno della compattazione avviene a seguito della compressione delle particelle del suolo con riduzione dello spazio e della continuità dei pori.

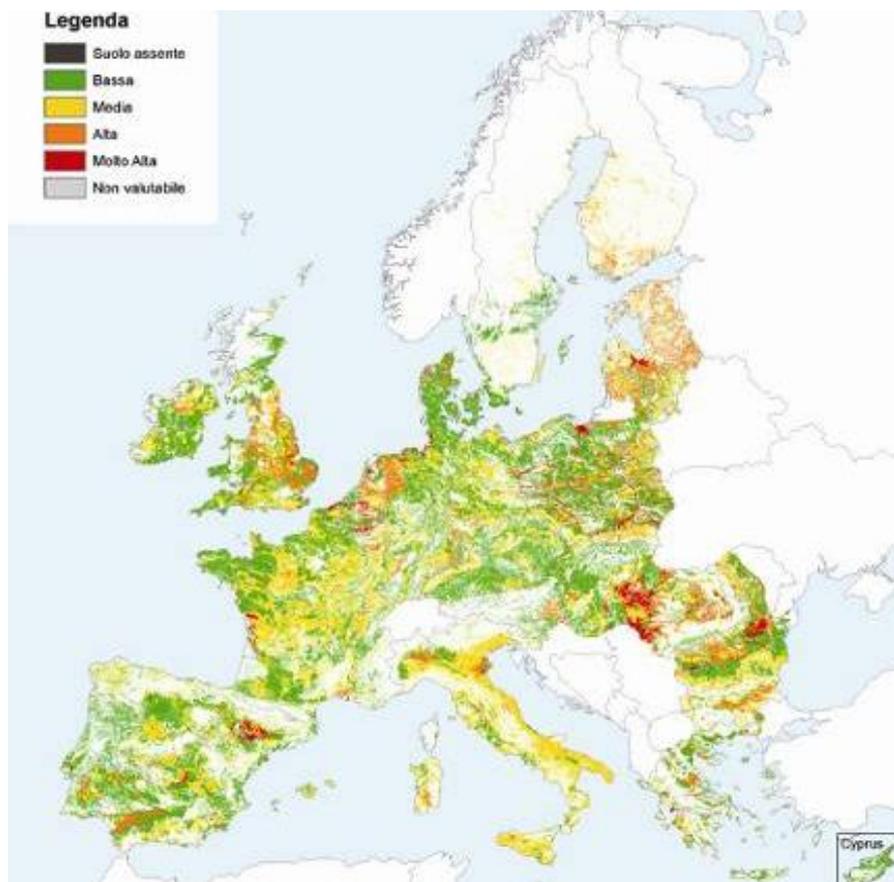
La compattazione è ritenuta un'importante concausa dei grandi

¹⁶ Fonte: AGRIS (2008) – *La salinizzazione dei suoli nelle piane agricole della Sardegna*. Regione Autonoma della Sardegna

suolo, evidenziano come il problema sia diffuso nelle aree agricole italiane sia di pianura sia collinari. Esistono però pochi dati quantitativi e limitati ad alcune aree di studio. L'unica cartografia nazionale disponibile è quella relativa alla suscettibilità naturale dei suoli alla compattazione, estraibile dall'elaborato europeo del JRC-IES, che però non fornisce informazioni sulla reale entità del fenomeno (Figura 9.10).

A livello continentale, la compattazione è generalmente ritenuta un'importante concausa dei grandi eventi alluvionali Nord-europei degli scorsi anni, ma sono ancora carenti gli studi relativi alla reale incidenza del fenomeno nell'amplificazione delle piene fluviali in Italia.

eventi alluvionali che hanno interessato diversi Paesi europei negli anni passati.



Buona parte dei suoli italiani presenta una medio-alta suscettibilità alla compattazione. Sono però necessari studi più dettagliati per valutare la reale entità della problematica e la sua influenza negli eventi alluvionali italiani.

Figura 9.10: Suscettibilità naturale dei suoli europei alla compattazione (2007)¹⁷

Relativamente all'uso del suolo, il confronto dei dati *Corine Land Cover* 1990, 2000 e 2006 (pur con il limite dell'unità minima cartografabile pari a 25 ettari che non consente di apprezzare l'evidente sviluppo dell'urbanizzato sparso e della rete viaria minore) ha permesso di delineare un *trend* che evidenzia ulteriormente, a livello nazionale, un incremento generalizzato delle aree urbane principalmente a discapito delle aree agricole e, in minor misura, delle aree boschive e seminaturali.

In Italia, così come nel resto d'Europa, la base di terre coltivate si contrae per effetto dei contrapposti processi di abbandono culturale e

¹⁷ Fonte: JRC -IES

urbanizzazione, con una progressiva tendenza alla specializzazione colturale e alla diminuzione della superficie occupata da ordinamenti tradizionali di tipo promiscuo.

Nel periodo 1990-2006 si assiste, quindi, a una progressiva diminuzione della superficie destinata ad aree agricole (143.000 ettari in meno tra il 1990 e il 2000, 40.000 tra il 2000 e il 2006), con un recupero di suoli boscati o seminaturali.

L'incremento delle aree artificiali sta assumendo, soprattutto in alcune regioni italiane e a scapito di aree agricole a elevata fertilità, proporzioni preoccupanti, poiché comporta la perdita irreversibile della risorsa e delle funzioni ambientali a essa connesse (vedi box d'approfondimento).

Al 2006, le regioni che presentano la maggiore percentuale di aree artificiali (> 6%) sono Lombardia, Veneto, Friuli-Venezia Giulia, Campania e Lazio mentre quelle meno urbanizzate (< 2%) sono Molise, Basilicata e Valle d'Aosta.

Nel periodo 1990-2000 si sono persi 143.000 ettari di aree agricole; tra il 2000 e il 2006 ulteriori 40.000 ettari.

Più della metà del territorio nazionale è rappresentato da aree agricole ma, nel periodo 1990-2006, si sono persi 183.000 ettari di tale superficie.

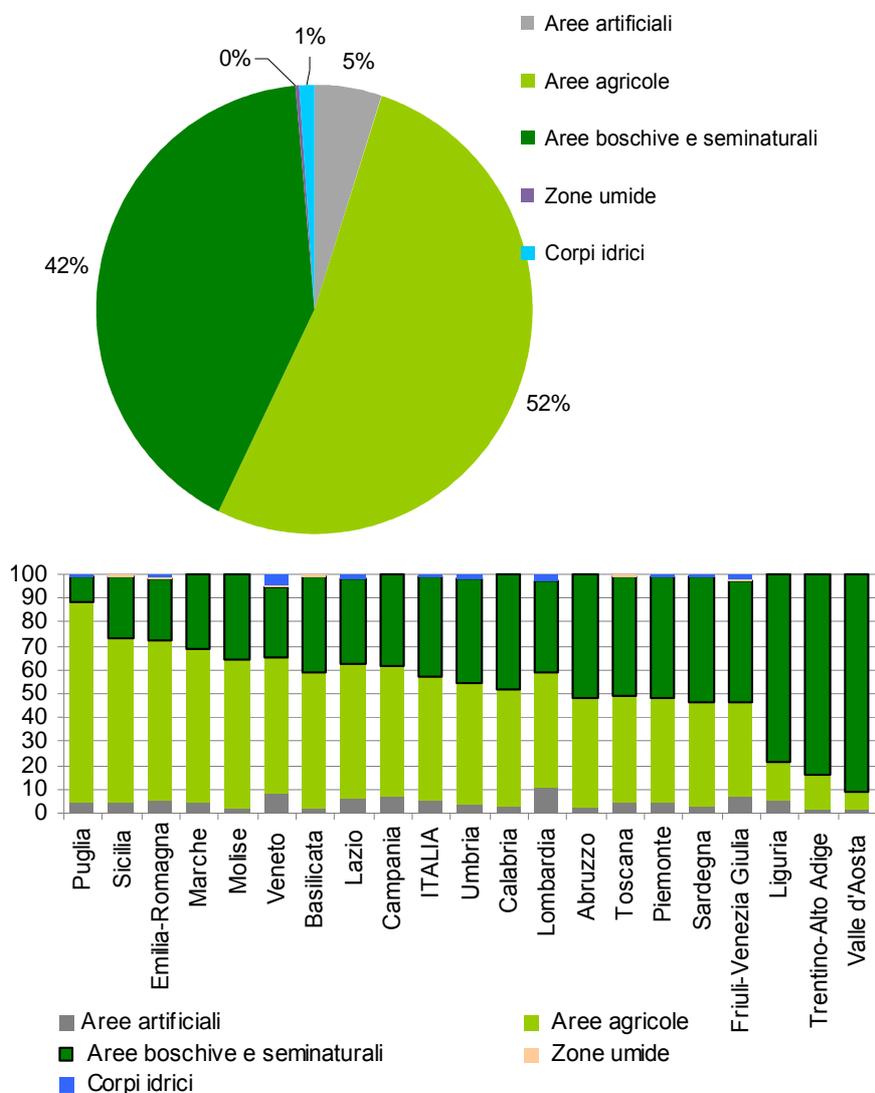


Figura 9.11: Distribuzione percentuale dell'uso del suolo per classi di primo livello CLC a livello nazionale e regionale (2006)¹⁸

¹⁸ Fonte: ISPRA

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 sistema di attività biologiche.

Essi contribuiscono attivamente a numerosi servizi critici per l'ecosistema 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).

Per le sue eterogenee caratteristiche geologiche, climatiche, morfologiche e vegetazionali l'Italia è il Paese europeo con la maggiore diversità di suoli. A tale diversificazione si associa una biodiversità edafica che raggiunge, secondo i censimenti effettuati (Tabella 9.1), valori dal doppio a dieci volte quella degli altri Paesi europei.

Al momento, in assenza di una specifica rete di monitoraggio, non è possibile conoscere l'esatta distribuzione e quantificare l'entità dei popolamenti.

Per sopperire a tale carenza, anche in relazione alle richieste provenienti dalla Comunità Europea, l'ISPRA ha istituito un tavolo tecnico dedicato alla progettazione e realizzazione di tale rete a cui prendono parte anche esperti esterni all'Istituto, rappresentanti di numerosi enti pubblici e privati.

Un primo documento¹⁹ prodotto contiene la proposta di Rete nazionale di Monitoraggio (ReMo).

Si può comunque affermare che, in Italia, le aree soggette a perdita di biodiversità dei suoli corrispondono in larga parte alle aree interessate anche dalle altre minacce precedentemente descritte. Tuttavia, informazioni ormai disponibili in letteratura hanno mostrato come all'interno delle aree protette si trovi un'elevatissima quantità di organismi edafici, con molte specie ancora non descritte

Gli organismi che popolano il suolo svolgono un insostituibile ruolo ambientale, ma solo una piccolissima percentuale delle specie è conosciuta.

In Italia è stato censito un numero di specie di invertebrati del suolo superiore agli altri Paesi europei.

¹⁹ Programma REMO. Rete nazionale monitoraggio biodiversità e degrado dei suoli, Quaderni *Natura e Biodiversità* 4/2012, <http://www.isprambiente.gov.it/it/pubblicazioni/quaderni/natura-e-biodiversita/programma-re-mo-rete-nazionale-monitoraggio-biodiversita-e-degrado-dei-suoli>

Tabella 9.1: Famiglie e specie di artropodi italiani (classi più legate al suolo)²⁰

Classe	Famiglie	Specie
	n.	
Arachnida	351	4.618
Symphyla	2	19
Pauropoda	3	43
Chilopoda	11	155
Diplopoda	28	473
Protura	6	31
Diplura	5	76
Collembola	18	419
Insecta	623	36.853

In accordo con la Strategia tematica per la difesa del suolo (COM(2006) 231), lo stadio finale dei processi di degrado del suolo è rappresentato dalla desertificazione. A questo termine è erroneamente associato, nell'immaginario collettivo, il processo di espansione dei deserti sabbiosi (definito più propriamente **desertizzazione**) in atto in varie parti del pianeta, dall'Africa alla Cina.

Per desertificazione si intende, invece, "il degrado delle terre nelle aree aride, semiaride e subumide secche, attribuibili a varie cause, tra le quali variazioni climatiche e attività umane"²¹.

La mancanza di una metodologia comune, adottata sia a livello globale sia locale, rende difficile la valutazione dell'intensità e dell'estensione della desertificazione e, soprattutto, non permette comparazioni tra le elaborazioni 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).

La perdita della funzionalità dei suoli interessa anche ampie aree del territorio italiano; a questo proposito, la più recente valutazione a scala nazionale (Figura 9.12) 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 disotto del 5%.

La desertificazione è lo stadio finale dei processi di degrado del suolo.

La perdita della funzionalità dei suoli interessa ampie aree del territorio italiano.

Le aree maggiormente vulnerabili ai processi di degrado del suolo sono in Sicilia, Molise, Puglia, Basilicata e Sardegna.

²⁰ Fonte: MATTM, 2006. *Check-list della Fauna d'Italia*, a cura di F. Stoch

²¹ UNCCD - *United Nations Convention to Combat Desertification, Art. 1a (1994)*

Altri studi realizzati dalle regioni, nell'ambito delle attività promosse dal Comitato Nazionale per la lotta alla Desertificazione a partire dal 2004, confermano il quadro nazionale fornendo approfondimenti conoscitivi per le aree maggiormente vulnerabili e mettendo in evidenza situazioni di particolare rilevanza locale.

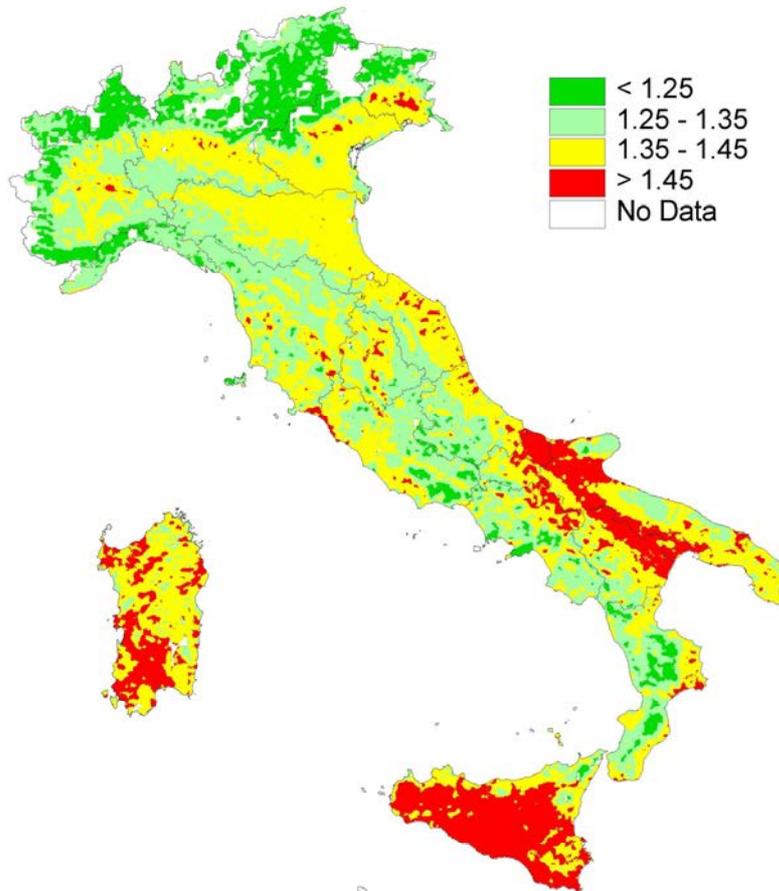


Figura 9.12 Carta dell'indice ESA (*Environmentally Sensitive Areas*) (2008 su dati 2000)²²

Nell'area mediterranea, la cartografia prodotta dall'Agenzia Europea dell'Ambiente (AEA) e dal consorzio ETC-LUSI (*European Topic Centre Land Use and Spatial Information*) evidenzia la presenza di diverse aree ad alta/molto alta sensibilità alla desertificazione, in cui è possibile raggiungere un livello di degrado tale da essere inutilizzabili per fini agricoli, forestali o pastorali (Figura 9.13).

²² Perini L., Salvati L., Ceccarelli T., Sorrenti S. & Zitti M., 2008 – *La desertificazione in Italia. Processi, indicatori, vulnerabilità del territorio*. CRA, CNLSD, MATTM, Bonanno editore, 191pp.

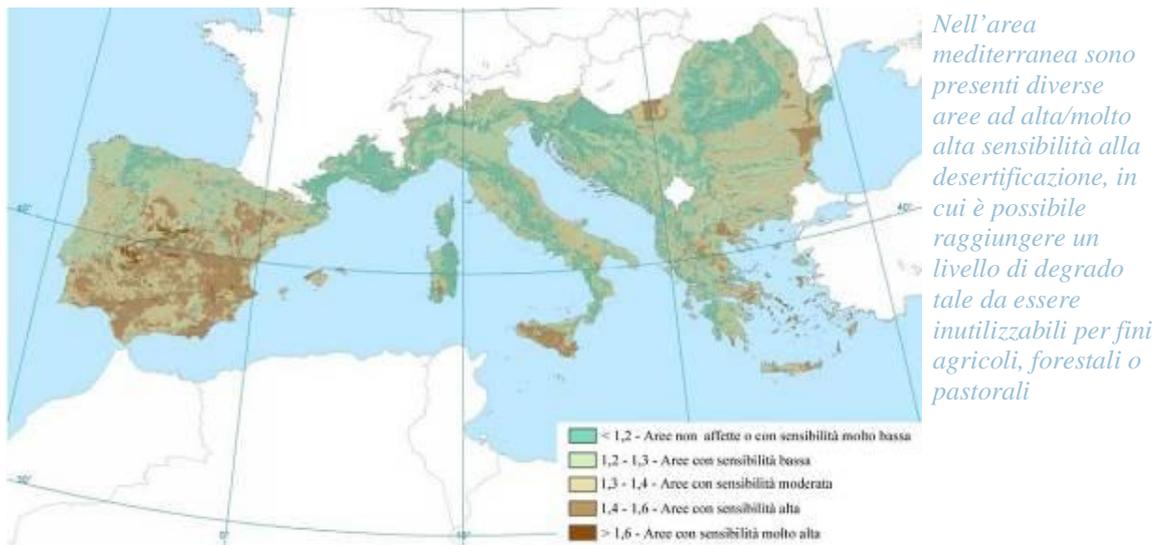


Figura 9.13: Carta dell'Indice di sensibilità alla desertificazione realizzata in ambito europeo (2008)²³

A livello internazionale il *Millennium Ecosystem Assessment* (MEA)²⁴ utilizzando il concetto di “servizi ecosistemici”²⁵ ha reso maggiormente operativa la definizione della desertificazione adottata dalla UNCCD. Il declino o il miglioramento dei diversi servizi forniti dagli ecosistemi costituisce, infatti, il principale sintomo del degrado/desertificazione o del successo delle azioni di recupero, specialmente per i servizi legati all'agricoltura di sussistenza che minano direttamente le condizioni di vita delle comunità maggiormente vulnerabili. A questo proposito, dati recenti mostrano che la perdita di biodiversità ha già iniziato a degradare i processi essenziali che regolano la produttività e la sostenibilità degli ecosistemi mediterranei.

Il progetto *Land Degradation Assessment in Drylands* (LADA) della FAO ha sviluppato, basandosi sui concetti proposti dal MA, la metodologia GLADIS²⁶ per valutare lo stato e l'evoluzione della desertificazione e del degrado del territorio. I risultati preliminari sono promettenti, anche se la bassa risoluzione spaziale dei dati utilizzati consente un uso molto limitato dei risultati disponibili. Sono stati selezionati sei indicatori relativi a: biomassa, biodiversità, stato di salute del suolo, disponibilità idrica, situazione economica e sociale.

Utilizzando parametri biofisici e socioeconomici sono state realizzate mappe tematiche globali e grafici a scala locale e nazionale con l'obiettivo di fornire un quadro dello stato dei servizi ecosistemici e della loro tendenza evolutiva. I sei indicatori sono calcolati a partire

²³ Fonte: Domingues, F. and Fons-Esteve, J., 2008. *Mapping sensitivity to desertification (DISMED Project)*. EEA-TC-LUSI. European Environment Agency, Copenhagen

²⁴ Millennium Ecosystem Assessment, 2005. *Ecosystems and Human Well-being: Desertification Synthesis*. World Resources Institute, Washington, DC

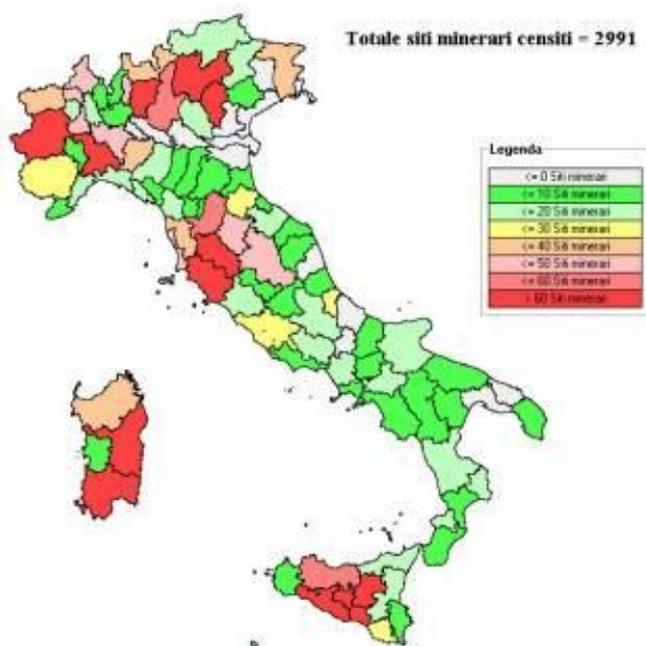
²⁵ Benefici multipli forniti dagli ecosistemi al genere umano. Si possono distinguere in quattro grandi categorie: supporto alla vita (es. formazione del suolo), approvvigionamento (es. cibo, risorse idriche, medicinali), regolazione (es. regolazione del clima), culturali (es. culturali e religiosi, estetici e ricreativi, educativi)

²⁶ LADA Technical report n. 17, *Global Land Degradation Information System (GLADIS) Version 1.0, An Information database for Land Degradation Assessment at Global Level*, Settembre 2011

da dati satellitari, risultati di modelli di simulazione e basi di dati economici e sociali. I risultati del progetto GLADIS sono ancora in fase di miglioramento e verifica, pertanto non è ancora possibile il loro utilizzo a scala nazionale e subnazionale. Un'importante settore socioeconomico è rappresentato dallo sfruttamento delle georisorse.

Le attività di estrazione, in sottoterraneo, 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)²⁷. Tali attività, anche quando regolamentate, risultano particolarmente invasive e determinano problematiche ambientali. Oltre agli impatti temporanei (rumore, polveri, inquinamento, ecc.), le pratiche d'estrazione possono produrre profonde e definitive modifiche del paesaggio, una perdita irreparabile di suolo, possibili fenomeni di inquinamento delle acque sotterranee e una serie di questioni relative alla destinazione d'uso delle aree dismesse.

Le attività estrattive determinano impatti temporanei e modifiche permanenti del territorio.



Nel periodo 1870-2010 sono state in esercizio 2.991 miniere, con un picco nel 1950 in cui ne erano attive 1.247. Attualmente solo 179 sono realmente in esercizio.

Figura 9.14: Siti minerari censiti sul territorio nazionale²⁸

Particolarmente impattante risulta l'attività estrattiva di minerali solidi di prima e seconda categoria (miniere e cave). Nel primo caso sono state in esercizio, nel periodo 1870-2010, 2.991 miniere, ognuna di queste per il periodo di tempo determinato dalla concessione, che hanno interessato 88 province su 103 (Figura 9.14).

L'attività mineraria ha avuto un *trend* crescente fino alla metà del secolo scorso, per poi ridursi progressivamente sino alle 179 miniere in esercizio al 2010. L'estrazione riguarda principalmente i minerali ceramici e a uso industriale (98 miniere) e la marna da cemento (32).

L'attività mineraria è molto ridimensionata rispetto al secolo scorso, tuttavia restano insolute le problematiche relative ai siti abbandonati.

²⁷ Classificazione delle attività economiche Ateco 2007, <http://www3.istat.it/strumenti/definizioni/ateco/>

²⁸ Fonte: ISPRA

In entrambi i casi l'Italia ha un ruolo *leader* nella produzione europea. Praticamente residuale è invece lo sfruttamento di minerali metalliferi (11), barite e fluorite (12), salgemma e sali potassici (12) e di altri minerali (lignite, talco, steatite, grafite, bitumi ecc.) (Figure 9.15 e 9.16).

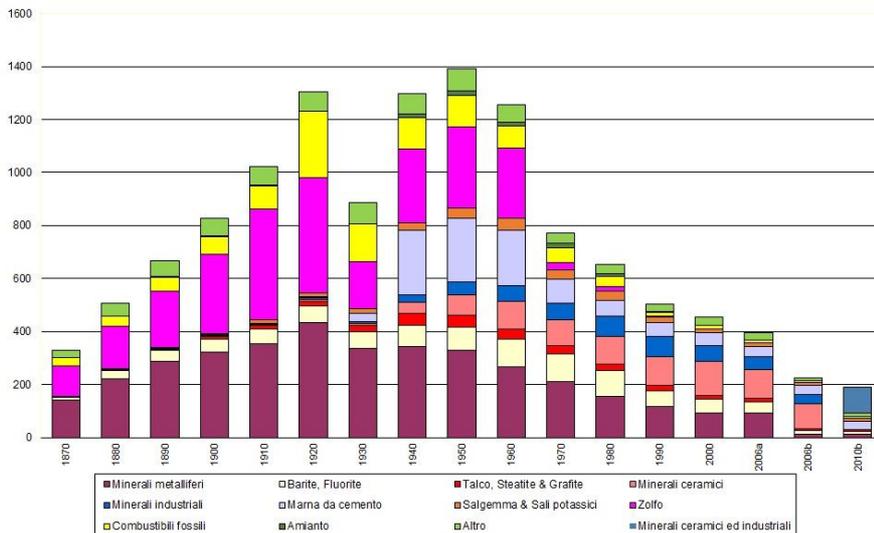


Figura 9.15: Siti minerari attivi nel periodo 1870-2010 per gruppi di minerali estratti ²⁹

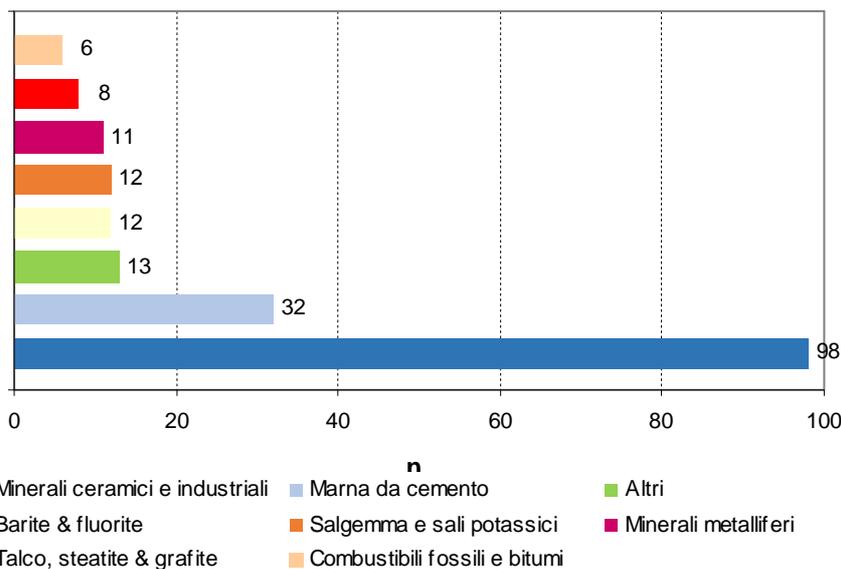


Figura 9.16: Siti minerari attivi per gruppi di minerali estratti (2010) ³⁰

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. Tuttavia restano insoluti i problemi, ecologico-sanitari e statico-strutturali, relativi alle centinaia di siti minerari abbandonati con le relative discariche degli scarti e i

²⁹ Fonte: ISPRA; ogni sito è stato in esercizio per più anni, in dipendenza della concessione ottenuta. a) siti con concessione attiva b) siti realmente in produzione.

³⁰ Fonte: ISPRA

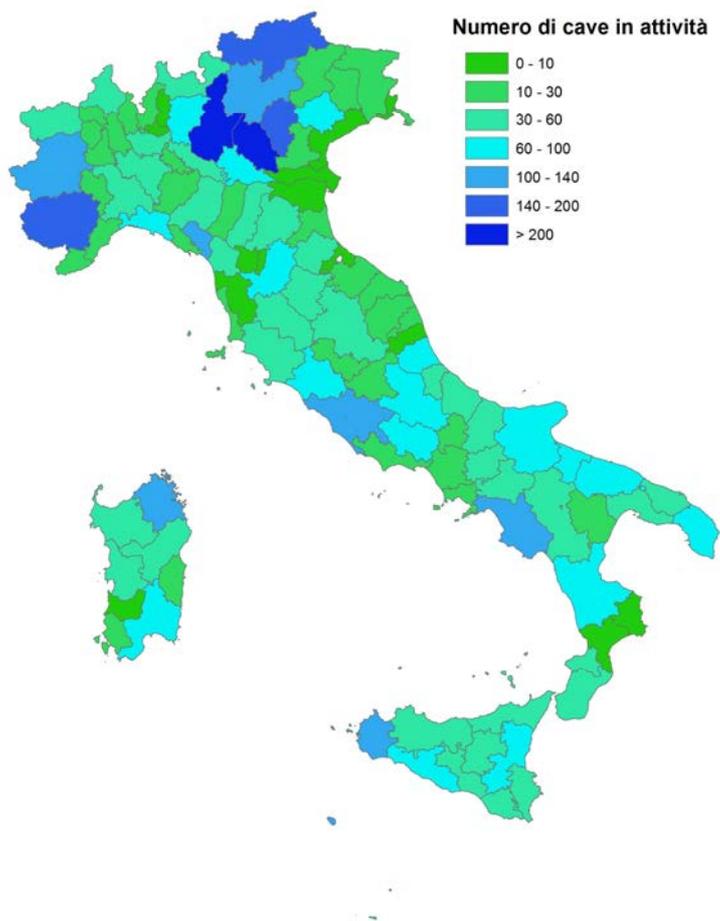
bacini di laveria, che non sono stati oggetto, ad oggi, di nessun intervento organico di recupero.

Per quanto riguarda le cave, sulla base dei dati reperiti presso gli uffici regionali preposti, ne risultano in attività circa 5.500, di cui più del 60% è rappresentato dall'estrazione di materiali alluvionali e di rocce carbonatiche.

Le regioni con il maggior numero di cave sul proprio territorio sono: Lombardia, Veneto, Piemonte (dove è particolarmente sviluppata l'estrazione dei materiali alluvionali), Puglia (con assoluta predominanza di estrazione di calcari), Sicilia, Sardegna e Toscana (con il maggior numero di cave di rocce metamorfiche dovuto agli insediamenti estrattivi di marmo del settore apuano) (Figura 9.17).

Allo stato attuale non è possibile delineare la situazione delle migliaia di cave dismesse o abusive che possono essere fonte di serie problematiche ambientali legate alla loro destinazione d'uso.

Le cave attive sono diffuse su tutto il territorio nazionale; non è ancora possibile delineare il quadro dei siti dismessi o abusivi.



Le regioni con il maggior numero di cave attive sono il Veneto, la Lombardia e il Piemonte a Nord, la Sicilia e la Puglia a Sud. Le province di Vicenza, Verona, Brescia, Cuneo e Bolzano presentano più di 150 cave in attività nel proprio territorio.

Figura 9.17: Cave attive sul territorio nazionale (2012)³¹

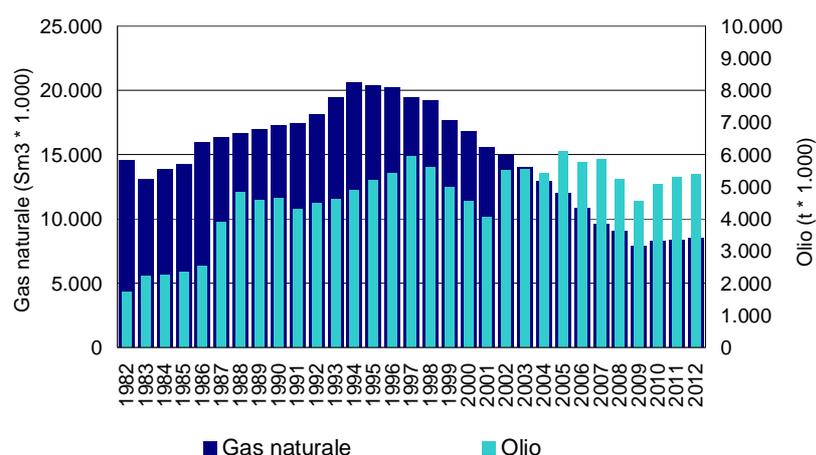
³¹ Fonte: ISPRA

Relativamente alle attività di estrazione di risorse energetiche, i più importanti giacimenti sono localizzati in Basilicata (che produce il 75% del petrolio e il 12% del gas naturale), in Sicilia (10% petrolio e 4% gas) e nell'*off-shore* adriatico dove si registra la massima produzione di gas naturale (52% nella zona A, 14% nella B e 10% nella D, corrispondenti ad alto, medio e basso Adriatico). A fine 2011 le riserve recuperabili con probabilità superiore al 50% erano stimate in circa $187 \cdot 10^6$ t di petrolio e $123 \cdot 10^9$ Sm³ di gas naturale, con un significativo incremento rispetto alle precedenti stime. Nel 2012 la produzione di gas è sostanzialmente stabile, mentre continua l'incremento della produzione di olio legata alla ripresa di campi in terraferma (Figura 9.18). Da sottolineare, inoltre, l'inizio di una collaborazione MSE/ISPRA per i controlli previsti dall'AIA (Autorizzazione Integrata Ambientale) per gli impianti a mare.

Un'importante parziale alternativa ai combustibili fossili è rappresentata dallo sfruttamento del calore terrestre che può essere estratto dal sottosuolo (geotermia) e utilizzato per la produzione di energia elettrica (risorse ad alta e media entalpia, $T > 90^\circ$) o per usi diretti (media e bassa entalpia, $T < 90^\circ$).

Nel territorio italiano, le risorse ad alta entalpia sono localizzate principalmente in corrispondenza delle aree vulcaniche della fascia costiera tirrenica, caratterizzata da forti anomalie del flusso di calore, dove sono in sfruttamento due aree, entrambe localizzate nella Toscana meridionale (Larderello-Travale/Radicondoli e Monte Amiata). L'interesse per la produzione di energia da fonte geotermica è in costante aumento, come evidenziato dall'incremento dei permessi di ricerca (Figura 9.19). Anche lo sfruttamento dell'energia geotermica provoca impatti ambientali non trascurabili, sebbene notevolmente inferiori a quelli di fonti energetiche tradizionali. La situazione ambientale dei campi toscani è, pertanto, costantemente monitorata dall'ARPA competente.

La maggior produzione di petrolio si ha in Basilicata, mentre il gas naturale proviene principalmente dall'alto Adriatico. La produzione di vapore geotermico è sviluppata solo in Toscana.



La produzione del gas naturale è in diminuzione dal 1994 a causa del declino dei vecchi campi non sostituiti da nuovi ritrovamenti. Negli ultimi anni si registra un incremento nella produzione di olio.

Figura 9.18: Produzione nazionale di olio e gas naturale³²

³² Fonte: Elaborazione ISPRA su dati del Ministero dello sviluppo economico

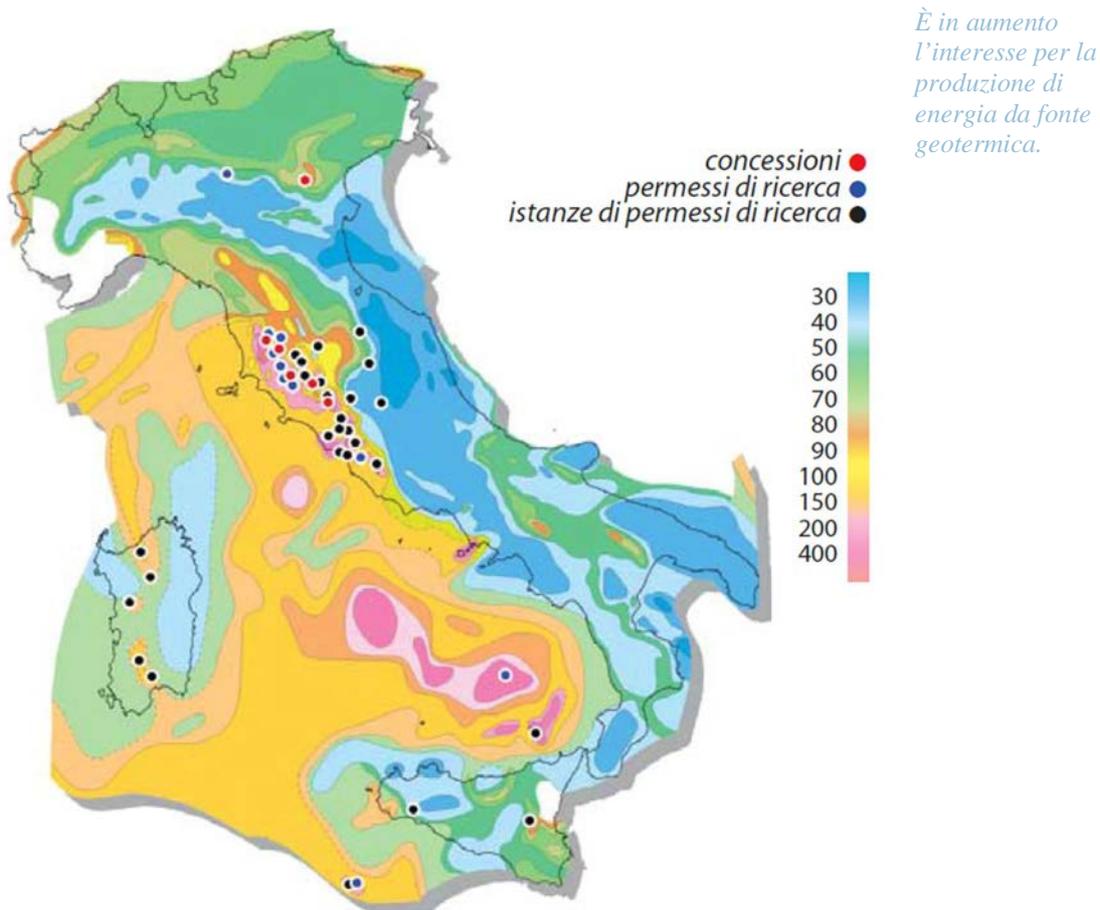


Figura 9.19: Mappa del flusso di calore (mW/m^2) e aree attualmente interessate da titoli minerari³³

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°).

Nel *database* permane una certa disomogeneità legata al diverso grado di ottemperanza alla legge, anche se a seguito di una campagna d'informazione promossa dall'ISPRA, negli ultimi anni (eccezione fatta per il 2010) si è verificato un incremento del flusso delle comunicazioni ricevute e quindi una migliore significatività della distribuzione territoriale dei dati.

Suolo e sottosuolo oltre a espletare funzioni fondamentali per l'esistenza dell'umanità (dalla fertilità alle georisorse) rappresentano anche un prioritario bene culturale e, alla stregua di beni culturali, è stato considerato dal legislatore il patrimonio geologico.

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

³³ Fonte: MSE-CNR. Progetto VIGOR, Valutazione del potenziale geotermico delle regioni della Convergenza

Si intende con questo termine l'insieme di quei siti di particolare interesse geologico (geositi) che per le loro caratteristiche intrinseche, forniscono un contributo importante per la comprensione della storia geologica di una regione, e per i quali viene individuato un interesse alla conservazione (Wimbledon, 1996).

In Italia sono stati censiti, ad oggi, circa 3.000 geositi.

Si tratta di luoghi che 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, in altri casi è il valore scientifico a prevalere.

A partire dal 2002 l'ISPRA (allora APAT) ha iniziato un progetto, finalizzato alla conoscenza del patrimonio geologico del territorio nazionale, denominato Inventario dei Geositi italiani.

Obiettivo delle attività è quello di realizzare un centro nazionale di raccolta dati e metadati sui siti di interesse geologico, un polo informativo e di coordinamento per la conoscenza, valorizzazione e conservazione del patrimonio geologico e uno strumento a disposizione della Pubblica Amministrazione per la pianificazione territoriale.

Le informazioni relative ai geositi italiani raccolte nell'inventario sono gestite dal *geodatabase* "Geositi" liberamente consultabile sul sito web dell'ISPRA³⁴.

Vi si possono effettuare ricerche testuali e geografiche; queste ultime permettono di individuare i geositi sulla mappa del territorio italiano, per poi accedere direttamente alle singole schede descrittive.

Il geodatabase contiene i dati relativi a circa 3000 geositi, ma la qualità del dato varia da regione a regione e il contenuto è in continua revisione.

Nella fase iniziale del progetto, infatti, i dati sono stati raccolti su base bibliografica e a seguito di segnalazioni inviate da Enti di ricerca, Università, liberi professionisti e studenti. Molte segnalazioni però necessitano di una verifica sul terreno.

Attualmente l'attività di raccolta dati è svolta dall'ISPRA in collaborazione con regioni e amministrazioni locali e la scheda per la segnalazione è scaricabile dal sito istituzionale dell'ISPRA.

Le schede che giungono all'ISPRA sono sottoposte a un controllo formale e sostanziale, con la richiesta di eventuali integrazioni e, se approvate, vengono poi inserite nel *geodatabase* Geositi.

³⁴ <http://sgi2.isprambiente.it/geositiweb/>

Le informazioni sui geositi differiscono tra regioni anche in base allo stato di avanzamento dell'inventario.

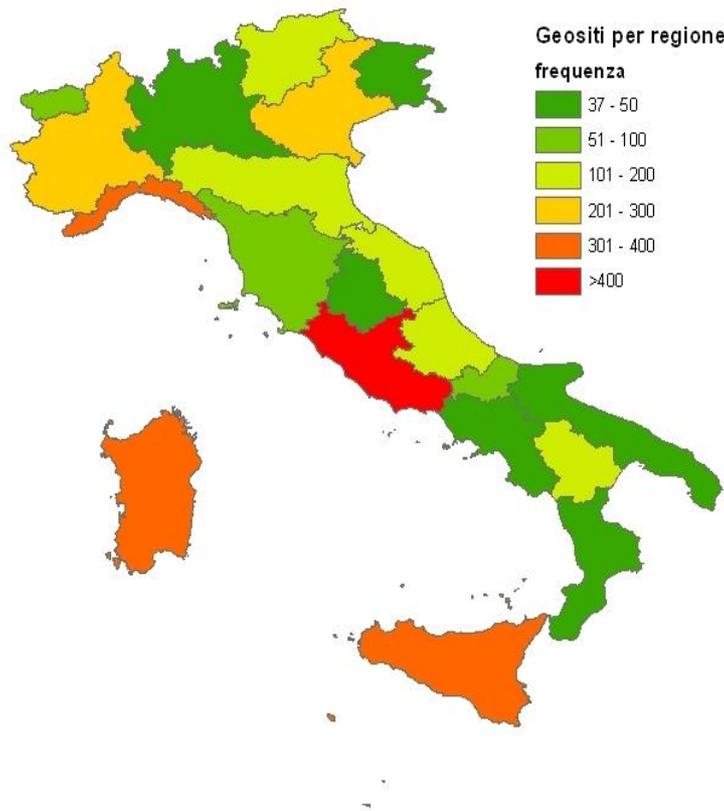


Figura 9.20: Distribuzione regionale dei geositi inventariati dall'ISPRA (2012)³⁵

Le principali cause della degradazione del suolo

Le varie problematiche legate alla degradazione fisica e biologica, che interessano sicuramente i suoli di gran parte delle aree antropizzate (es. erosione, compattazione, perdita di sostanza organica, ecc.), derivano principalmente dalla grande trasformazione subita dal territorio italiano nel secolo scorso.

La disordinata espansione dei centri urbani, lo sviluppo industriale, il proliferare delle infrastrutture, l'estrazione delle materie prime e la modernizzazione dell'agricoltura (incentrata sulla ricerca della massima produttività) hanno esercitato una notevole, a volte inevitabile, pressione sul suolo.

Una buona parte del territorio è stata così sacrificata, spesso in modo sconsiderato, alle esigenze di sviluppo della società, ma le attuali conoscenze sugli effetti dello sfruttamento del territorio e del suolo rendono improcrastinabile l'adozione di politiche indirizzate verso la loro gestione sostenibile.

Una problematica comune a tutti i paesi industrializzati è rappresentata dall'inquinamento puntuale o diffuso del suolo e delle acque sotterranee.

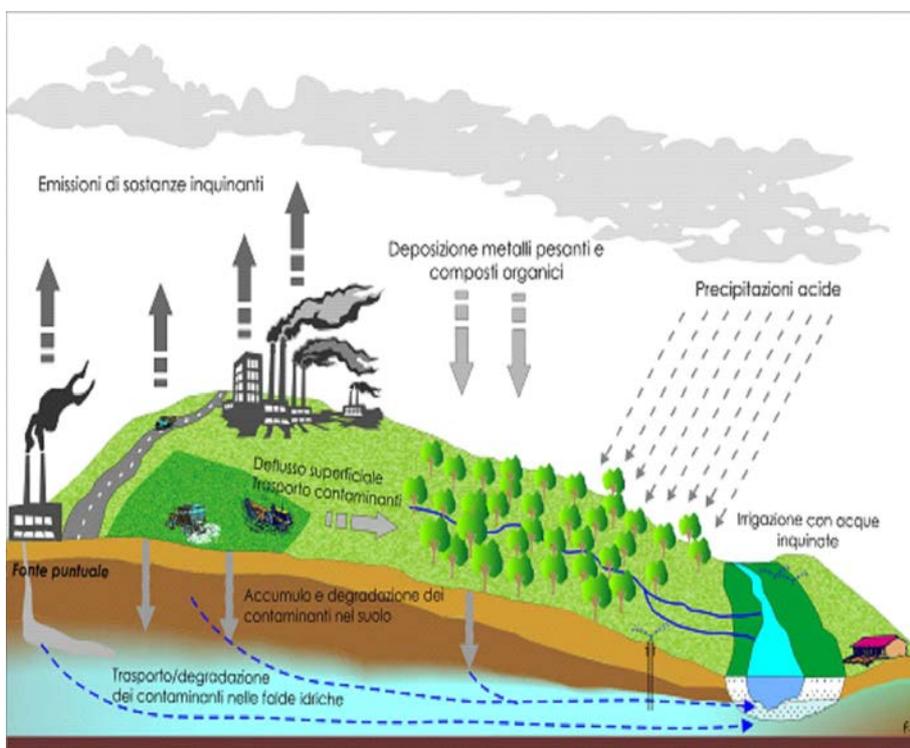
³⁵ Fonte: ISPRA

La contaminazione puntuale (siti contaminati) è originata dalla presenza di attività antropiche (industrie, miniere, discariche ecc.) che possono determinare fenomeni di contaminazione locale del suolo, per sversamenti, perdite da impianti/serbatoi, non corretta gestione dei rifiuti, ecc.

In Italia le attività principalmente coinvolte in fenomeni di contaminazione puntuale sono le industrie legate alla raffinazione di prodotti petroliferi, l'industria chimica, metallurgica ed estrattiva e alcune attività di gestione dei rifiuti, cui si aggiunge la presenza di manufatti in amianto, soprattutto quelli in cattive condizioni di conservazione.

La contaminazione diffusa può invece essere legata alle deposizioni atmosferiche e all'agricoltura intensiva, oppure ad attività antropiche diffuse sul territorio e/o prolungate nel tempo tali da rendere difficile l'individuazione di una sorgente univoca (Figura 9.21).

La contaminazione puntuale è dovuta alla presenza di: industrie di raffinazione dei prodotti petroliferi, industrie chimiche, metallurgiche, alcune attività di gestione dei rifiuti (anche amianto).



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.

Figura 9.21: Schema della contaminazione diffusa³⁶

Le emissioni industriali e veicolari in atmosfera determinano il rilascio nel suolo di contaminanti acidificanti (SO_x , NO_x , NH_3), metalli pesanti (Pb, Hg, Cd, As, Cr, Cu, Ni, Se, Zn) e composti organici (idrocarburi a catena lineare, IPA, diossine, furani, ecc.). Le pratiche agricole intensive che prevedono l'abbondante utilizzo di fitofarmaci, fertilizzanti chimici, deiezioni zootecniche e fanghi di depurazione possono determinare un *surplus* di elementi nutritivi (N, P, K), un accumulo di metalli pesanti e la diffusione di sostanze biocide. In particolare, l'eccesso di elementi nutritivi, essendo i nitrati

Le attività industriali e civili rilasciano in atmosfera sostanze acidificanti, metalli pesanti e composti organici. Le pratiche agricole determinano

³⁶ Fonte: ISPRA

³⁷ Report from the Commission to the Council and the European Parliament on implementation of Council Directive 91/676/EEC concerning the protection of waters against pollution caused by nitrates from agricultural sources based on Member State reports for the period 2004-2007. SEC(2010)118

molto solubili nelle acque e difficilmente trattiene dal suolo, può determinare gravi fenomeni di inquinamento delle falde idriche sotterranee e di eutrofizzazione degli ecosistemi acquatici.

Nonostante una generale tendenza alla diminuzione dei nitrati nelle acque correlata alle misure intraprese in ottemperanza alla normativa vigente, permangono in Europa alcune situazioni di criticità, tra cui quella in ampie aree dell'Italia settentrionale³⁷.

Il MiPAAF, nell'ambito del Programma Rete Rurale Nazionale, finanzia ISPRA per l'implementazione di un programma che su scala sovra regionale migliori il livello di definizione delle sorgenti dei nitrati nelle acque superficiali e di falda, nel perseguimento degli obiettivi dell'Unione Europea diretti alla protezione delle acque dall'inquinamento provocato dai nitrati provenienti da fonti agricole (Direttiva 91/676/CEE). Tale progetto, coordinato dall'ISPRA e realizzato in collaborazione con le ARPA delle regioni Piemonte, Lombardia, Emilia-Romagna, Veneto e Friuli-Venezia Giulia, sarà focalizzato sull'applicazione di indagini isotopiche come supporto nell'identificazione e valutazione dei contributi che possono portare a una presenza di valori elevati di nitrati nelle acque sotterranee e superficiali.

Sempre nell'ambito del progetto si sta sviluppando un indice che potrà essere utilizzato come metodo speditivo per un primo apporcionamiento qualitativo dei contributi derivanti dalle diverse sorgenti di nitrati (sorgenti agricole e civili) nelle acque.

Anche l'utilizzo agricolo di fanghi di depurazione che, accanto a nutrienti e carbonio organico possono contenere quantità significative di sostanze pericolose per l'uomo, può destare qualche preoccupazione se non correttamente gestito e controllato. In particolare, lo spandimento dei fanghi deve essere sempre accompagnato da un'attenta caratterizzazione pedologica delle aree interessate che permetta di stabilire le quantità di fanghi che possono essere immesse al suolo senza causare problemi ambientali.

Nel suolo, inoltre, è possibile individuare, in contesti geologici particolari, un valore naturalmente elevato per alcuni contaminanti (valore di fondo o pedogeochemico) non riconducibile ad alcuna sorgente puntuale e/o specifica attiva, nel presente o in passato, sull'area di interesse³⁸.

Un'elevata concentrazione di metalli pesanti può derivare dalle caratteristiche chimiche delle rocce da cui i suoli hanno avuto origine ed è quindi necessario, per individuare un'eventuale contaminazione antropica, definire correttamente il contenuto naturale di fondo.

Un recente studio della regione Emilia-Romagna³⁹ pone, ad esempio, in evidenza come gli elevati valori di Ni e Cr rilevati nella pianura emiliano-romagnola, ampiamente superiori ai limiti di legge per terreni incontaminati, siano legati all'erosione delle rocce ofiolitiche presenti nel bacino e non a contaminazione antropica. Ai materiali

eccessi di elementi nutritivi, accumuli di metalli pesanti e la diffusione di sostanze biocide.

I nitrati sono in diminuzione in tutta Europa ma permangono situazioni di criticità.

Lo spandimento dei fanghi di depurazione dovrebbe essere accompagnato dall'accurato studio delle caratteristiche dei suoli.

Alcuni suoli presentano naturalmente elevate quantità di contaminanti.

Per i metalli pesanti nei suoli è fondamentale riuscire a discriminare il contenuto naturale (valore di fondo) da quello indotto dalle attività antropiche.

³⁸ APAT-ISS, *Protocollo operativo per la determinazione dei valori di fondo di metalli/metalloidi nei suoli dei siti di interesse nazionale*. Giugno 2006

³⁹ Regione Emilia-Romagna, Servizio Geologico Sismico e dei Suoli, 2011 - Carta Pedo geochemica della pianura emiliano-romagnola <http://ambiente.regione.emilia-romagna.it/geologia/temi/metalli-pesanti/la-carta-pedogeochemica-di-cr-ni-zn-pb-cu-della-pianura-emiliano-romagnola-a-scala-1-250.000-2011>

parentali sono da attribuire anche i superamenti di Zn, Ni, Cr, As, Sn che si registrano nelle Prealpi venete⁴⁰.

In generale accumuli di Zn, Cu, Pb e Cd nei primi 30 cm di suolo, sono presumibilmente legati a contaminazione di origine antropica, sia industriale e civile (Pb e Cd) sia agricola (Cu, Zn).

Al contrario elementi come Ni, Cr e As quando presentano concentrazioni maggiori in profondità dovrebbero confermare un'origine naturale dovuta alla composizione geologica del materiale parentale.

Concentrazioni eccessive di inquinanti hanno effetti negativi anche sugli organismi del suolo, sia direttamente, per emigrazione o morte degli individui e delle specie più sensibili, sia indirettamente, a causa dello sviluppo di organismi resistenti e poco specializzati.

Per tale motivo, la biodiversità edafica è sempre più utilizzata nei programmi di monitoraggio dei suoli e dei siti contaminati, come utile indicatore biologico in grado di integrare i dati chimici e fisici rilevati nelle convenzionali analisi pedologiche.

I motivi della perdita di biodiversità del suolo, tuttavia, non sono limitati solo al problema della presenza e persistenza degli inquinanti; un impatto fortemente negativo è legato anche alle pratiche agricole intensive (lavorazioni profonde e frequenti) che spesso, insieme all'instaurarsi di superfici compattate, riducono l'*habitat* favorevole per gli organismi edafici.

La diminuzione della porosità nella cosiddetta "suola d'aratura" provoca una diminuzione della possibilità di diffusione dell'ossigeno, generando modificazioni delle catene alimentari e, in particolare, nel tipo e nella distribuzione degli organismi.

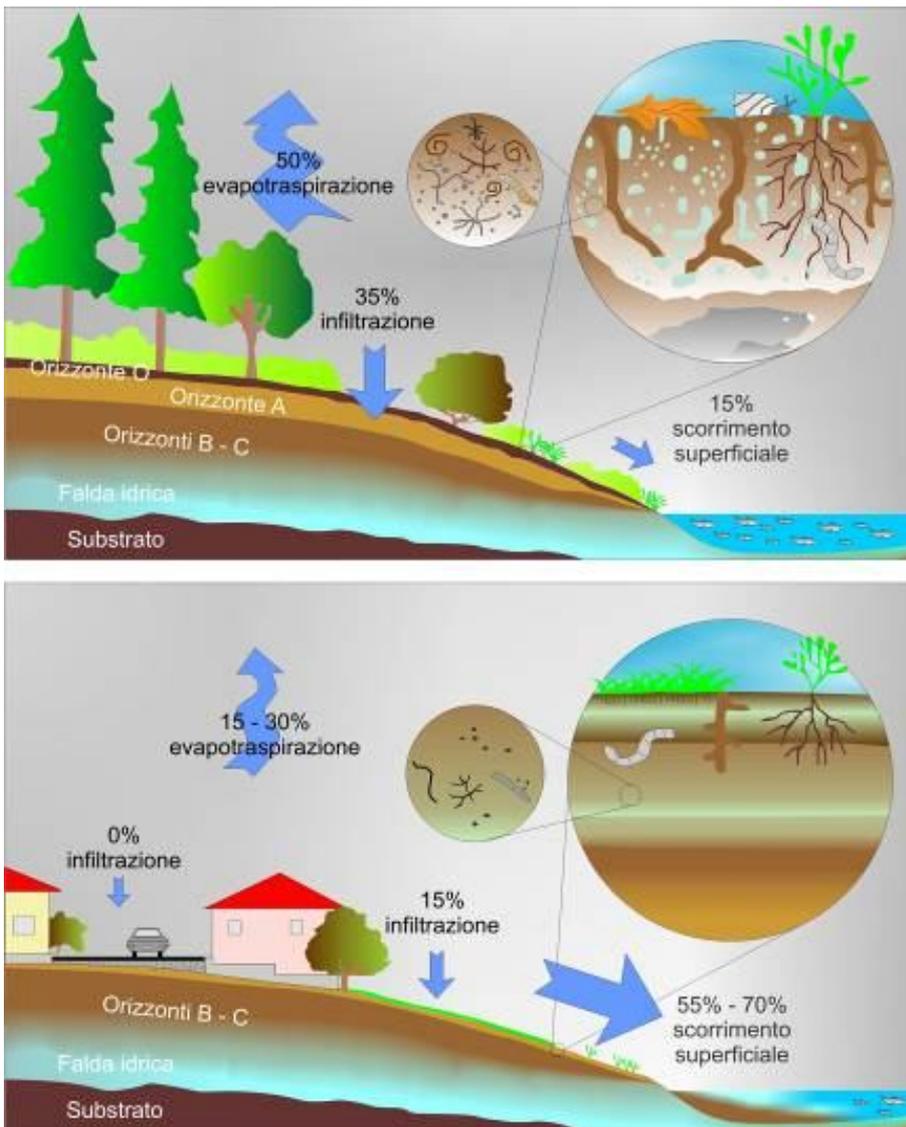
Altri fattori che limitano la presenza di organismi sono legati all'incremento dei sali o alle variazioni di acidità del suolo, che possono modificare la struttura delle comunità di microrganismi.

Una grave perdita di biodiversità si verifica, inoltre, in tutte le trasformazioni dell'uso del territorio che prevedono la cementificazione e l'impermeabilizzazione del suolo a causa dei mancati apporti di sostanza organica, della sua sottrazione per erosione o a seguito di incendi o, nella peggiore delle ipotesi, per la totale asportazione degli orizzonti superficiali del suolo più ricchi di sostanza organica.

Infine, l'introduzione accidentale o deliberata di specie alloctone spesso determina esplosioni demografiche invasive, a discapito di quelle autoctone, maggiormente in equilibrio con l'ambiente.

Inquinamento, pratiche agricole intensive, erosione, compattazione, salinizzazione, diminuzione di sostanza organica e impermeabilizzazione hanno come conseguenza la perdita di biodiversità del suolo e quindi la riduzione delle sue funzioni vitali.

⁴⁰ ARPAV (2011) – *Metalli e metalloidi nei suoli del Veneto. Determinazione dei valori di fondo*



Un suolo in condizioni naturali è in grado, in funzione della sua porosità, permeabilità e umidità, di trattenere una grande quantità delle precipitazioni atmosferiche, contribuendo a regolare il deflusso superficiale. Al contrario, in un ambiente antropizzato, la presenza di superfici impermeabilizzate, la riduzione della vegetazione, l'asportazione dello strato superficiale ricco di sostanza organica e l'insorgere di fenomeni di compattazione comportano un grave scadimento della funzionalità del suolo con incremento dello scorrimento superficiale e aumento dei fenomeni erosivi con trasporto nei collettori naturali di grandi quantità di sedimento.

Nota:

I valori riportati in figura sono puramente indicativi.

Essi variano, anche sensibilmente, in funzione di molteplici parametri (caratteristiche fisico-chimiche del suolo, topografia, geologia, durata e intensità delle precipitazioni, ecc.)

Figura 9.22: Schema indicativo delle funzionalità di un suolo naturale e di uno antropizzato⁴¹

La perdita di sostanza organica (SO) è uno dei processi più gravi che possono interessare i suoli. Il fenomeno è legato da una parte alle grandi trasformazioni d'uso del suolo operate, in tempi diversi, dall'uomo (imponenti deforestazioni, conversione delle foreste o dei pascoli permanenti in terreni arabili, ecc.), dall'altra, anche se in maniera molto meno impattante, allo sviluppo delle pratiche agricole intensive. Una grande anomalia dei sistemi agricoli nell'ultimo secolo è, infatti, la rottura del ciclo della sostanza organica nel quale le biomasse agricole rappresentano un importante passaggio. In particolare, le tradizionali pratiche di reintegro, soprattutto con letame, delle perdite di SO dovute alle coltivazioni, sono state per molto tempo abbandonate. In questo modo l'*input* di carbonio organico per i suoli arati è principalmente affidato a una gestione, più o meno

La perdita di sostanza organica è legata alle trasformazioni di uso del suolo e alle pratiche agricole intensive.

⁴¹ Fonte: APAT (2008) – Il suolo, la radice della vita. Roma, 120pp

oculata, dei residui colturali e agli apporti di altre forme di sostanza organica non zootecnica.

I processi di mineralizzazione della sostanza organica sono, inoltre, funzione del clima e della tipologia di suolo, pertanto nell'area mediterranea la concentrazione di SO nei suoli è mediamente inferiore ai livelli medi considerati per il resto dell'Europa. Nel contesto italiano, quindi, va posta particolare attenzione alla conservazione della SO per evitare di avvicinarsi a valori di guardia che potrebbero comportare una significativa perdita della fertilità.

Per quanto riguarda la capacità dei suoli di immagazzinare il carbonio contrastando così il fenomeno dei cambiamenti climatici e, in particolare, le dinamiche del carbonio organico dei suoli coltivati, a livello nazionale recenti studi⁴² indicano che la riserva di OC (*Organic Carbon*) è vicina a un equilibrio, mantenendo la perdita media annua tra 0,2 e 0,5 t/ha. Tale perdita è attribuibile all'intensificazione delle pratiche agricole nei suoli coltivati da migliaia di anni e potrebbe essere diminuita utilizzando diverse opzioni di mitigazione come lavorazioni ridotte, migliore gestione del suolo o apporto di ammendanti di origine zootecnica.

Per incrementare l'entità della riserva di OC è necessaria una politica nazionale a lungo termine che promuova l'adozione di pratiche agricole a basso impatto, magari con l'ausilio di misure da attivare in ambito agroforestale per il raggiungimento degli obiettivi fissati dal Protocollo di Kyoto. Le pratiche agricole atte a supportare l'agricoltura specializzata e intensiva, oltre a trasformare in modo imponente il paesaggio agricolo, non sono state in grado di mantenere un equilibrio tra necessità produttive e ambiente.

L'abbandono delle sistemazioni idraulico-agrarie e dei terrazzamenti, i livellamenti del terreno, le coltivazioni lungo la massima pendenza, l'eccessiva frantumazione delle zolle e l'utilizzo di organi lavoranti sempre più pesanti hanno avuto come effetto l'innescare di preoccupanti fenomeni di erosione del suolo e quindi di perdita dei suoi orizzonti superficiali ricchi in sostanza organica, favorendo, soprattutto in occasione di eventi piovosi estremi la formazione di movimenti gravitativi di massa. I macchinari pesanti sono anche all'origine dei più spinti fenomeni di compattazione del suolo, in particolare quando utilizzati su suoli bagnati.

Effetto analogo ha anche il pascolamento eccessivo, mentre le arature protratte nel tempo alla stessa profondità determinano la formazione di uno strato compattato all'interno del suolo (suola d'aratura).

Gli impatti sul suolo generati dall'agricoltura possono essere mitigati tramite l'utilizzo di pratiche agricole innovative che consentono di ridurre l'impatto sull'ecosistema tellurico e favorire il mantenimento della capacità produttiva e della fertilità del suolo.

L'utilizzo di pratiche agricole incentrate solo sulla produttività è alla base dell'instaurarsi di gravi fenomeni erosivi e di compattazione del suolo.

⁴² Chiti et al. 2011

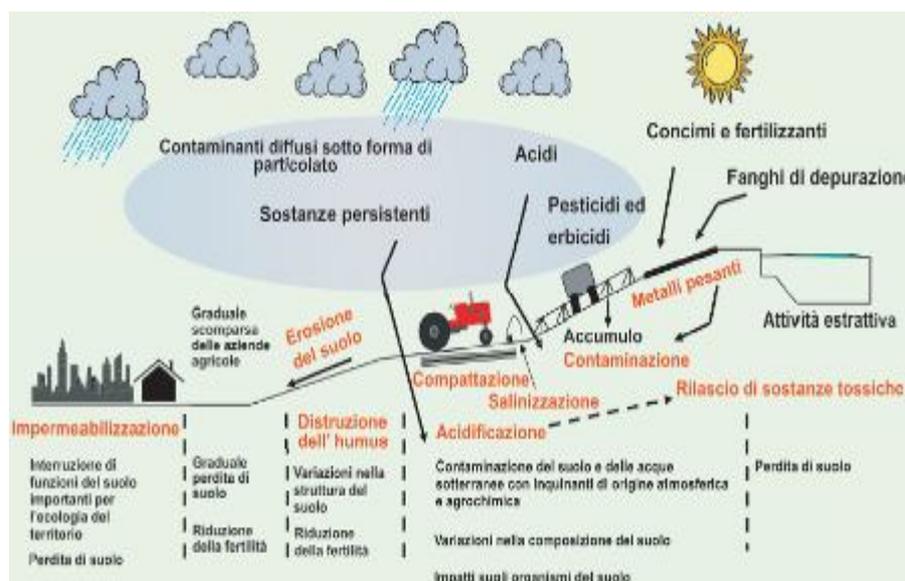
L'Italia, come altri Paesi dell'Europa mediterranea, è particolarmente soggetta a problemi di salinizzazione, sia legati ai fattori della formazione e dell'evoluzione naturale del suolo su *parent material* particolari (salinizzazione primaria), sia indotti dall'uomo (secondaria), o dalla sovrapposizione di entrambi gli effetti. In particolare, la salinizzazione secondaria dei suoli a causa dell'irrigazione rappresenta un problema destinato ad aggravarsi non solo per la forte competizione esistente fra città, industria e campagna nell'uso dell'acqua, per il sovrasfruttamento delle falde e per l'impiego in agricoltura di acque sempre meno idonee (acque saline, acque reflue civili e industriali), ma anche per effetto dei previsti cambiamenti climatici che, incrementando l'aridità, determineranno una minore lisciviazione e un conseguente aumento della salinizzazione. Particolarmente esposte risultano, pertanto, le aree a clima tendenzialmente caldo-arido, soprattutto nelle aree costiere dove gli eccessivi emungimenti per uso agricolo, civile o industriale, provocano l'abbassamento del livello di falda e la possibilità di intrusione di acque saline.

Le aree costiere italiane sono particolarmente soggette ai fenomeni di salinizzazione a causa dell'emungimento e dell'uso di acque sempre più saline.

Il processo di degrado di un territorio è quindi collegato a diversi fattori di pressione di origine naturale e antropica (Figura 9.22); la desertificazione è la risultante di questo complesso sistema di interazioni, allorquando il degrado arriva a pregiudicare in modo pressoché irreversibile la capacità produttiva sostenibile degli ecosistemi agricoli e forestali.

L'ultimo stadio della degradazione dei suoli è rappresentato dalla desertificazione.

I fattori di tipo climatico che caratterizzano maggiormente tale processo sono l'aridità, la siccità e l'erosività della pioggia; mentre le principali cause antropiche sono legate alle attività socio-economiche: agricoltura, zootecnia, gestione delle risorse idriche, incendi boschivi, industria, urbanizzazione, turismo, discariche, attività estrattive (Figura 9.23).



Il processo di degrado di un territorio è collegato a fattori di pressione di origine naturale e antropica.

Figura 9.23: Schema delle minacce che possono compromettere le funzioni del suolo. L'ultima fase di degrado è rappresentata dalla desertificazione⁴³

⁴³ Fonte: JRC - IES



Figura 9.24: Schema delle dinamiche naturali e antropiche connesse con il fenomeno della desertificazione⁴⁴

Specificità regionali

L'indicatore "consumo di suolo (impermeabilizzazione)" fornisce un quadro del consumo di suolo causato dalla presenza e dall'evoluzione temporale delle aree artificiali (impermeabilizzate) nel territorio della regione Friuli-Venezia Giulia. Essendo derivato dai dati del progetto CLC, sviluppato con metodologie riconosciute a livello internazionale e con i medesimi criteri per tutto il territorio dell'UE, permette anche di fare confronti con le altre regioni italiane e con le aree confinanti. Il confronto del consumo di suolo con le altre regioni evidenzia che, nel 2006, il Friuli-Venezia Giulia presenta, rispetto alla sua superficie, una percentuale di aree artificiali o impermeabilizzate piuttosto rilevante (circa 7%), superato solo dalla Lombardia e dal Veneto e costituisce la regione italiana con più suolo urbanizzato *pro-capite*.

ARPA Friuli-Venezia Giulia

Le azioni volte alla tutela del suolo

La crescente consapevolezza, a livello europeo, dell'importanza ambientale dei suoli e della necessità di contrastarne il progressivo degrado e la perdita di funzionalità, di limitare lo sviluppo di processi di desertificazione, di mitigare i fenomeni di dissesto idrogeologico e di diminuire le pressioni antropiche sul territorio ha portato a una profonda revisione dell'impianto normativo. Il Sesto e il Settimo Programma di Azione Ambientale, la nuova Politica Agricola Comune (PAC; Regolamenti UE 1782/03, 1783/03 e 1698/05) e la proposta di direttiva per la protezione del suolo (COM (2006) 232) riconoscono la funzione ambientale dei suoli e pongono le basi per la tutela e la conservazione della risorsa. A livello nazionale e continentale gran parte del territorio non urbanizzato è gestito e mantenuto dagli operatori agro-forestali che rappresentano, quindi, i principali attori delle politiche di conservazione del suolo.

⁴⁴ Fonte: APAT (2008) – *Il suolo, la radice della vita*. Roma, 120pp

Alla luce delle problematiche causate dall'applicazione della vecchia PAC relative alla produzione eccedentaria, alla crescita smisurata degli investimenti comunitari nonché all'evidenziarsi di danni ambientali rilevanti e alla progressiva diminuzione delle rese, la nuova politica agricola "Agenda 2000" ha portato a un'impostazione centrata sulla sostenibilità ambientale. Basata sui principi di Agenda 2000, la successiva riforma di medio termine della PAC (Riforma Fischler) ha rappresentato la svolta decisiva verso un'agricoltura il più possibile in equilibrio con l'ambiente e tale da garantire anche in futuro la produttività. Di particolare interesse per la tutela del suolo è il principio riguardante la *condizionalità*, secondo il quale l'erogazione del premio agli agricoltori che beneficiano di pagamenti diretti è legato all'osservanza di una serie di requisiti obbligatori in materia di corretta gestione agronomica dei terreni (anche in assenza di coltivazione) ovvero: sicurezza alimentare, rispetto dell'ambiente, sicurezza degli operatori, salute e benessere degli animali.

Il sostegno alle aziende agricole è quindi subordinato al rispetto dei Criteri di Gestione Obbligatoria (CGO) e al mantenimento della terra in Buone Condizioni Agronomiche e Ambientali (BCAA). Il Ministero delle politiche agricole alimentari e forestali emana annualmente un decreto che prevede l'elenco completo dei CGO e BCAA da rispettare per l'anno successivo, dando la facoltà alle singole regioni di emettere provvedimenti di recepimento più consoni alle caratteristiche del proprio territorio.

In particolare, i CGO rappresentano disposizioni di legge (Atti) già in vigore e derivanti dall'applicazione nazionale e regionale di corrispondenti norme comunitarie (ad es. la Direttiva 278/86/CEE "Direttiva Fanghi" e la Direttiva 91/676/CEE "Direttiva Nitrati"); mentre le BCAA (Norme) sono stabilite a livello nazionale e regionale, per garantire i quattro obiettivi prioritari fissati dall'Unione Europea:

- proteggere il suolo dall'erosione;
- mantenere il livello di sostanza organica del suolo;
- proteggere la struttura del suolo;
- mantenere un livello minimo dell'ecosistema e conservare gli *habitat*.

Le norme per il mantenimento dei terreni in buone condizioni agronomiche e ambientali incluse nei DM riguardano: la regimazione delle acque superficiali nei terreni in pendio; la gestione delle stoppie, dei residui colturali e delle rotazioni; il mantenimento in efficienza della rete di sgrondo per il deflusso delle acque superficiali; la protezione del pascolo permanente; la gestione delle superfici ritirate dalla produzione; la manutenzione degli oliveti; il mantenimento degli elementi caratteristici del paesaggio. Nella PAC 2007-2013 è stato ulteriormente rafforzato lo sviluppo rurale, grazie all'introduzione di nuove norme e all'aumento delle risorse disponibili.

La Politica Agricola Comune pone le basi per un'agricoltura sostenibile.

La "condizionalità" subordina il sostegno comunitario all'obbligo di garantire una corretta gestione dei suoli.

Il Ministero delle politiche alimentari agricole e forestali emana ogni anno un DM con l'elenco delle norme da rispettare.

Il Piano Strategico Nazionale per lo Sviluppo Rurale (PSN), elaborato dal MiPAAF, detta gli indirizzi per i corrispondenti Programmi regionali (PSR) e prevede all'Asse 2 (Miglioramento dell'ambiente e dello spazio rurale) quattro obiettivi prioritari che intendono rafforzare quanto previsto dalla condizionalità:

- conservazione della biodiversità, tutela e diffusione di sistemi agro-forestali a elevato valore naturale;
- tutela qualitativa e quantitativa delle risorse idriche superficiali e profonde;
- riduzione dei gas a effetto serra;
- tutela del territorio.

Il quarto obiettivo deve essere ottenuto tramite una serie di interventi volti a mitigare i fenomeni di erosione idrica, salinizzazione, compattazione, contaminazione, diminuzione di sostanza organica e di biodiversità, consumo di suolo e impermeabilizzazione.

Tutte le regioni/province autonome hanno redatto il proprio PSR che segue, con gli opportuni adattamenti alle realtà locali, il PSN. Nelle misure predisposte e adottate dalle regioni italiane all'interno dell'Asse 2 del PSR, molte hanno un diretto impatto migliorativo su alcune delle minacce di degradazione evidenziate dalla Strategia tematica per la protezione del suolo, in quanto mirano a ridurre il carico di nutrienti per riportarlo ai fabbisogni colturali, a favorire il mantenimento o l'incremento delle sostanze organiche del suolo, a ridurre l'intensità delle lavorazioni del suolo, a diminuire l'utilizzo di prodotti fitosanitari, ad aumentare il grado di copertura del suolo per contrastare fenomeni erosivi e di rilascio dei nutrienti, a favorire la diversificazione colturale e la cura di spazi naturali o di fasce inerbita o arboree. In particolare, nella misura 214 "Pagamenti agroambientali" molte regioni hanno previsto il sostegno a pratiche colturali caratterizzate da una forte valenza di conservazione delle proprietà del suolo, come ad esempio l'agricoltura biologica o l'agricoltura integrata, o la creazione e il mantenimento delle siepi.

Anche all'interno di misure non propriamente dedicate alla sostanza organica sono stati inseriti degli impegni per le aziende che prevedono l'obbligo di apportare ammendanti organici al suolo con una certa periodicità. È tuttora in discussione la riforma della PAC 2014-2020, la quinta in vent'anni, che vede tra le principali novità l'introduzione del pagamento ecologico (*greening*), in linea con quel processo di "inverdimento" del sostegno all'agricoltura. La proposta di regolamento definisce il *greening* come un pagamento per le pratiche agricole benefiche per il clima e l'ambiente.

Gli agricoltori ne avranno diritto a condizione che percepiscano il pagamento di base e che rispettino sui loro ettari ammissibili tre pratiche agricole considerate benefiche per clima e ambiente:

- diversificazione delle colture;
- mantenimento dei prati permanenti;
- presenza del 7% di aree di interesse ecologico.

Il Piano Strategico Nazionale per lo Sviluppo Rurale fornisce gli indirizzi per i corrispondenti Programmi regionali(PSR).

Una analisi degli effetti derivanti dall'adozione di tecniche colturali conservative atte a favorire il mantenimento della capacità produttiva e della fertilità del suolo, è stata realizzata con il progetto SoCo (*Sustainable Agriculture and Soil Conservation* - Agricoltura Sostenibile e Conservazione del suolo)⁴⁵ della Commissione Europea. I risultati hanno evidenziato importanti effetti positivi a seguito dell'applicazione di queste pratiche agricole alternative sia dal punto di vista economico e sociale, sia, soprattutto, ambientale.

Tecniche agronomiche quali le “non lavorazioni” o le “lavorazioni ridotte” del terreno (*no-tillage* e *reduced tillage*) combinate in maniera opportuna con colture di copertura (*cover crop*) o appropriate rotazioni colturali riescono a ridurre i processi di degrado del suolo attraverso indiscutibili vantaggi quali ad esempio:

- la riduzione del rischio di erosione idrica e il conseguente aumento della capacità di infiltrazione dell'acqua nel suolo;
- l'aumento della sostanza organica e di azoto negli strati più superficiali del terreno che permette, allo stesso tempo, una riduzione nell'uso di pesticidi ed erbicidi, la salvaguardia della falda sottostante da possibili inquinanti e, non ultimo, l'immagazzinamento di nocivi gas serra;
- l'aumento della biomassa del suolo (una maggiore attività biologica contribuisce alla formazione di macropori essenzialmente verticali che aumentano l'infiltrazione dell'acqua e la resistenza del suolo alla compattazione).

Tecniche agronomiche, quali le “non lavorazioni” o le “lavorazioni ridotte” del terreno, combinate in maniera opportuna con colture di copertura o appropriate rotazioni colturali, riescono a ridurre i processi di degrado del suolo.

Tuttavia l'attuazione di simili sistemi colturali deve inevitabilmente tener conto dei notevoli investimenti che le aziende agricole dovranno sostenere per accedere a macchinari specializzati, dell'adeguata formazione degli agricoltori e dei tempi di attesa necessari a un sistema ad agricoltura conservativa per raggiungere l'equilibrio (in genere tra i 5 e i 7 anni). In merito a ciò alcune regioni hanno introdotto una nuova misura agro ambientale nel Piano di Sviluppo Rurale, prevedendo un contributo a copertura dei costi per le aziende che si impegnano a praticare la semina su sodo o la minima lavorazione con intercalare per un periodo di almeno 5 anni.

I risultati del progetto SoCo hanno anche messo in luce come non esistano soluzioni univoche per ridurre, se non annullare, gli effetti di degrado del suolo dovuti all'applicazione di pratiche agricole non consone. L'agricoltura conservativa può rappresentare una soluzione, ma anche in questo caso è necessario valutarne l'applicabilità in relazione alla natura dei suoli, alla struttura aziendale e alle produzioni a essa collegate. Una moderna agricoltura, mirata anche alla conservazione delle risorse naturali, non può prescindere dalla conoscenza delle risorse stesse e dalla “territorializzazione” dei sistemi di gestione agricola.

A settembre 2006, la Commissione Europea ha proposto la *Soil Thematic Strategy* (COM(2006) 231), la *Proposal for a Soil Framework Directive* (COM(2006) 232) e l'*Impact Assessment* (SEC(2006)1165) con l'obiettivo di proteggere i suoli europei consentendone un uso sostenibile, attraverso la prevenzione di

La Commissione Europea ha elaborato una Strategia tematica che ha portato all'emanazione di

⁴⁵ (<http://soco.jrc.ec.europa.eu/>)

un'ulteriore degradazione, la tutela delle funzioni del suolo e il ripristino dei suoli degradati. In tali documenti viene ribadito il ruolo ambientale del suolo e sono definite le minacce che possono comprometterne le funzioni. Viene riconosciuta, inoltre, la forte interrelazione dei suoli con le altre matrici ambientali e la necessità, a causa della loro estrema variabilità spaziale, di incorporare nelle politiche di protezione una forte componente locale.

Gli Stati membri dovranno individuare, per le minacce "agricole", le aree a rischio in base a elementi comuni, fissare obiettivi di riduzione del rischio per le aree in questione e preparare programmi contenenti le misure necessarie per conseguirli.

Per quanto riguarda la contaminazione, riconosciuta come una delle "minacce prioritarie" per le funzioni del suolo, gli elementi principali contenuti nella Strategia tematica sono: la definizione comune *risk-based* (cioè basata sulla valutazione del rischio) di "sito contaminato" e di "bonifica"; la procedura sistematica di identificazione dei siti contaminati e di realizzazione di anagrafi nazionali dei siti contaminati; l'introduzione del "rapporto sullo stato del suolo" come strumento utile nella compravendita dei siti interessati da attività potenzialmente inquinanti; la necessità che gli Stati membri definiscano una "Strategia nazionale di bonifica" che includa gli obiettivi (numero di siti da bonificare), le priorità di intervento e un calendario di attuazione. La proposta è stata adottata in prima lettura dal Parlamento europeo nel novembre 2007 ma, in occasione del Consiglio Ambiente di marzo 2010, la procedura è stata bloccata da una minoranza di Stati membri per motivazioni legate alla sussidiarietà, ai costi ritenuti eccessivi e al carico amministrativo⁴⁶.

Il blocco dell'iter procedurale ha così determinato il perdurare di una carenza legislativa ribadita anche nella Comunicazione della Commissione Europea COM(2011) 531⁴⁷, in cui si sottolinea che "complessivamente il Sesto PAA ha contribuito a iscrivere la politica ambientale in un quadro generale per un periodo di dieci anni, durante i quali la normativa ambientale è stata consolidata e completata così da riguardare tutti i settori collegati all'ambiente con l'eccezione del suolo".

Nonostante il complesso *iter* della proposta di direttiva la sua formulazione ha avuto il grande merito di portare all'attenzione il ruolo ambientale, economico e sociale dei suoli indirizzando, conseguentemente, le attività in corso.

La lacuna normativa europea si ripercuote anche a livello nazionale, dove la legislazione vigente relativa alla difesa del suolo è incentrata, più che sulla conservazione della risorsa, sulla protezione del territorio dai fenomeni di dissesto geologico-idraulico⁴⁸.

Fa eccezione l'aspetto riguardante la protezione del suolo e delle acque dall'inquinamento, caratterizzato da varie norme che prevedono, tra l'altro, il coinvolgimento di diversi comparti

una proposta di Direttiva Quadro per la protezione del suolo (COM (2006) 232), attualmente bloccata per l'opposizione di alcuni Stati membri.

La lacuna normativa europea si ripercuote anche a livello nazionale, dove la legislazione vigente relativa alla difesa del suolo è incentrata sulla protezione del territorio dai fenomeni di dissesto geologico-idraulico.

⁴⁶ Commissione Europea (2012) – *Attuazione della Strategia Tematica per la Protezione del suolo e attività in corso*. COM (2012) 46 final

⁴⁷ Commissione Europea (2011) – *Sesto programma comunitario di azione in materia di ambiente. Valutazione definitiva*. COM (2011) 531

⁴⁸ Vedi introduzione al capitolo

istituzionali. Il recupero dei siti contaminati, tramite processi di bonifica, è regolamentato in Italia dal D.Lgs. 152/06 (Parte IV, Titolo V) e il relativo decreto correttivo D.Lgs. 4/08 che hanno sostituito il DM 471/99.

Nel D.Lgs. 152/06 viene definito “sito potenzialmente contaminato: *un sito nel quale uno o più valori di concentrazione di sostanze inquinanti rilevati nelle matrici ambientali risultino superiori ai valori di Concentrazioni Soglia di Contaminazione (CSC), in attesa di espletare le operazioni di caratterizzazione e di analisi di rischio ambientale sito-specifica, che ne permettano di determinare lo stato o meno di contaminazione sulla base delle Concentrazioni Soglia di Rischio (CSR)*”. Definisce, invece, un “sito contaminato: *un sito nel quale i valori delle Concentrazioni Soglia di Rischio (CSR), determinati con l’applicazione della procedura di analisi di rischio di cui all’Allegato 1 alla parte quarta del presente decreto sulla base dei risultati del piano di caratterizzazione, risultano superati*”.

All’interno del processo decisionale per l’identificazione e la gestione dei siti contaminati è pertanto rilevante la differenza tra le Concentrazioni Soglia di Contaminazione (CSC) e le Concentrazioni Soglia di Rischio (CSR). Mentre il superamento delle prime obbliga alla caratterizzazione e analisi di rischio, il superamento delle seconde determina lo stato di “sito contaminato” e la conseguente messa in sicurezza o bonifica.

Occorre precisare che, tra tutti gli effetti che potrebbero nuocere alla salute umana o alla qualità dell’ambiente, causare il deterioramento dei beni materiali, oppure danni o perturbazioni a valori ricreativi dell’ambiente o ad altri suoi legittimi usi, la norma si sofferma esclusivamente sugli effetti diretti sulla salute. Infatti, la definizione di sito contaminato dipende esclusivamente dagli “*effetti sulla salute umana derivanti dall’esposizione prolungata all’azione delle sostanze presenti nelle matrici ambientali contaminate*”.

Per quanto concerne i Siti di Interesse Nazionale (SIN), a più di dieci anni dall’emanazione della prima norma, la percentuale di aree svincolate e/o bonificate è ancora esigua e lo stato di avanzamento delle attività di bonifica è piuttosto disomogeneo sul territorio nazionale. In linea generale, la maggiore percentuale di aree bonificate e/o svincolate si trova all’interno dei SIN meno complessi e in particolare si rileva una maggiore velocità dei procedimenti nelle aree in cui sono previsti insediamenti a elevato valore economico (riqualificazione a scopo urbanistico-residenziale, insediamento di nuovi impianti produttivi).

L’introduzione nel D.Lgs. 04/08 dell’Art. 252-bis (*Siti di preminente interesse pubblico per la riconversione industriale*) che prevede, attraverso il coinvolgimento del Ministero dello sviluppo economico, sistemi di finanziamento pubblico e numerosi elementi volti ad accelerare le procedure di riutilizzo delle aree inquinate da parte dei soggetti privati, potrebbe portare a un maggiore sviluppo delle attività di bonifica e al recupero produttivo dei siti contaminati a destinazione industriale. Altro strumento efficace nell’assicurare il coordinamento delle azioni tra i vari soggetti coinvolti nelle attività di bonifica e la realizzazione di procedure amministrative più snelle sono gli Accordi

Il D.Lgs. 152/06 regola il processo di bonifica dei siti contaminati e introduce il concetto di analisi di rischio.

Per i SIN, la percentuale di aree svincolate e/o bonificate è ancora esigua.

di Programma. Recentemente, con l'art. 36 bis della Legge 134 del 07 agosto 2012, si è provveduto alla revisione dei criteri di individuazione dei SIN il cui numero è stato ridotto a 39.

Il D.Lgs. 152/06 prevede che le regioni si dotino di un sistema di raccolta e aggiornamento dei dati sui siti inquinati attraverso la creazione delle "Anagrafi regionali dei siti da bonificare" e adottino i relativi piani di bonifica. Le anagrafi predisposte presentano, tuttavia, una certa disomogeneità legata al diverso criterio utilizzato per identificare i siti contaminati. Più in generale, i criteri di inserimento dei siti contaminati all'interno delle Anagrafi regionali spesso soffrono della mancanza di una procedura sistematica e omogenea sul territorio nazionale per l'identificazione delle aree potenzialmente contaminate, ovvero delle aree che ospitano o hanno ospitato attività potenzialmente inquinanti, sulle quali condurre le indagini.

Relativamente ai *brownfields* si sta operando al fine di rivitalizzare le aree dismesse per renderle parte attiva nel territorio urbano.

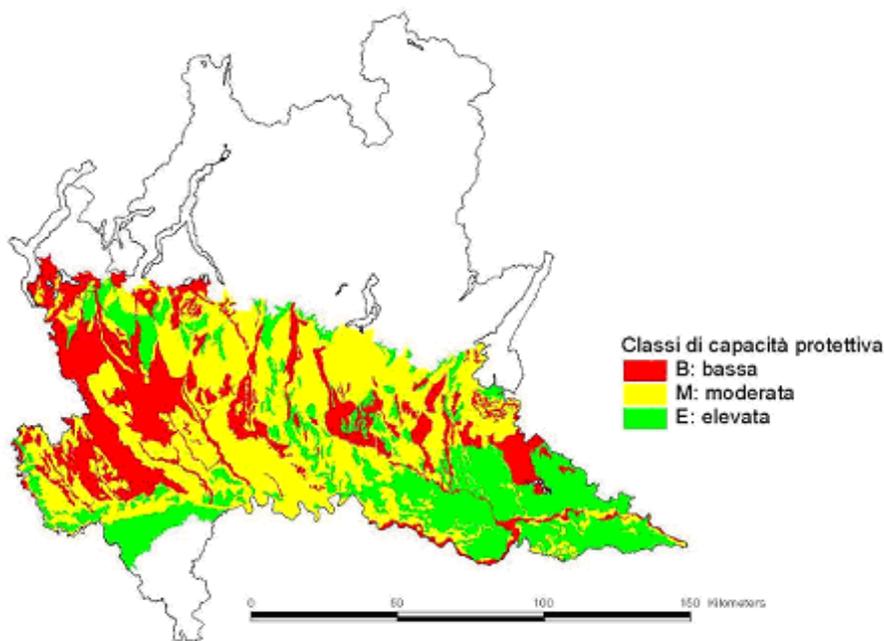
Molte aree sono state già recuperate e generalmente adibite ad aree residenziali, a verde pubblico, ad aree commerciali e a spazi pubblici comuni, mentre le attività di riconversione dei "megasiti", in particolare quelli ubicati nelle regioni meridionali, risultano ancora fortemente sottodimensionate rispetto alle effettive potenzialità.

Nel caso della contaminazione diffusa la risposta più efficace è quella di intraprendere attività preventive volte alla mitigazione delle pressioni tramite: il miglioramento dei controlli sulle emissioni in atmosfera e nelle acque; la limitazione all'uso e alla commercializzazione di sostanze potenzialmente contaminanti; la definizione di criteri di qualità per i prodotti utilizzati in agricoltura e la limitazione, sulla base della loro composizione, dei quantitativi di fertilizzanti utilizzabili. La qualità dei fanghi di depurazione in funzione del loro possibile utilizzo agricolo e dei suoli come loro recettori è definita dalla Direttiva 86/278/CEE, recepita dal D. Lgs. 27 gennaio 1992, n.99. Tale decreto ha lo scopo di disciplinare l'utilizzazione dei fanghi di depurazione in agricoltura in modo da evitare effetti nocivi sul suolo, sulla vegetazione, sugli animali e sull'uomo, incoraggiandone nel contempo la corretta utilizzazione. Alle regioni è delegato il rilascio delle autorizzazioni per le attività di raccolta, trasporto, stoccaggio, condizionamento e utilizzazione dei fanghi. Esse stabiliscono, anche, ulteriori limiti e condizioni all'utilizzo e le norme per lo spandimento. Predispongono inoltre i piani di utilizzazione agricola dei fanghi. Il DM MiPAAF 19/04/99 "Codice di buona pratica agricola" indirizza verso un corretto uso dei fertilizzanti al fine di evitare eccessi di elementi nutritivi, mentre il D.Lgs. 152/06, parte Terza "Norme in materia di difesa del suolo e lotta alla desertificazione, di tutela delle acque dall'inquinamento e di gestione delle risorse idriche", fornisce indicazioni sugli interventi di mitigazione dell'inquinamento idrico da nitrati e stabilisce, l'individuazione regionale delle Zone Vulnerabili ai Nitrati (ZVN) e da prodotti fitosanitari. La definizione delle ZVN è un processo complesso che deriva dall'intersezione delle capacità protettive dei suoli e delle caratteristiche idrogeologiche con i carichi di origine agricola e i dati sulla qualità delle acque (esempi nelle Figure 9.25 e

I siti contaminati di competenza regionale devono essere inseriti in apposite "Anagrafi regionali dei siti da bonificare".

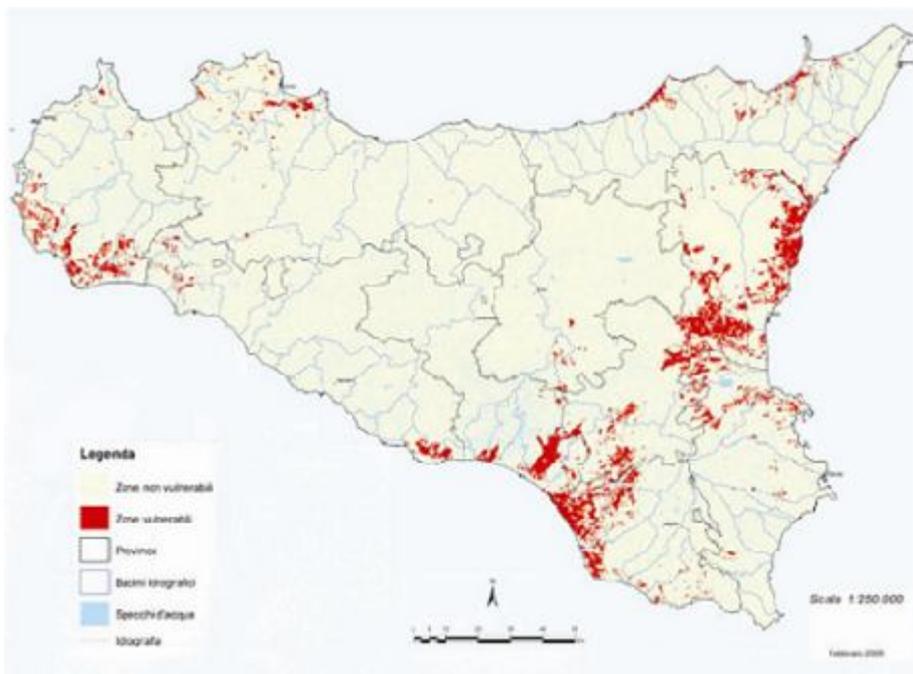
Nel caso della contaminazione diffusa la risposta più efficace è quella di intraprendere azioni volte alla mitigazione delle pressioni.

9.26). Tali zone sono state individuate, in tempi diversi, in tutto il territorio nazionale con l'esclusione di Valle d'Aosta, Trento e Bolzano che non presentano tale problematica. Una stima, a scala di bacino, delle pressioni sui corpi idrici, compresi i fenomeni di contaminazione locale e diffusa è prevista anche dalla Direttiva 2000/60/CE.



La carta esprime la potenziale capacità del suolo di trattenere i fitofarmaci entro i limiti dello spessore interessato dagli apparati radicali delle piante e per un tempo sufficiente a permetterne la degradazione.

Figura 9.25: Carta della capacità protettiva dei suoli della pianura lombarda nei confronti delle acque sotterranee (2005)⁴⁹



Nelle zone vulnerabili è obbligatoria l'applicazione di una serie di norme relative alla gestione dei fertilizzanti e ad altre pratiche agronomiche, nonché delle misure vincolanti descritte nel Codice di Buona Pratica Agricola.

Figura 9.26: Carta regionale delle zone vulnerabili da nitrati di origine agricola (2005)⁵⁰

⁴⁹ Fonte: ERSAF (Ente Regionale per i Servizi all'Agricoltura e alle Foreste) Regione Lombardia

⁵⁰ Fonte: Regione Sicilia

Per quanto riguarda le azioni di mitigazione del rischio di desertificazione, nel 1994 l'Italia ha firmato la Convenzione delle Nazioni Unite per la Lotta alla Siccità e alla Desertificazione diventando così paese membro della UNCCD con il duplice ruolo di paese "donatore" e paese "affetto" compreso nell'Annesso IV della convenzione che include i paesi del Mediterraneo settentrionale.

La "Strategia decennale della UNCCD" elaborata per il periodo 2008-2018 si pone quattro "Obiettivi Strategici" da raggiungere nel lungo periodo (miglioramento delle condizioni di vita delle popolazioni colpite e dello stato degli ecosistemi nelle zone affette, generazione di benefici globali attraverso l'effettiva attuazione della UNCCD, mobilitazione di risorse per sostenere l'attuazione della Convenzione) e cinque "Obiettivi Operativi" per il medio e breve periodo (sensibilizzazione ed educazione della popolazione ai problemi della *land degradation*, quadro d'azione riguardante l'adozione di piani di azione nazionali, scienza, tecnologia e conoscenze per un adeguato sistema di monitoraggio della *land degradation*, rafforzamento delle capacità, finanziamento e trasferimento di tecnologia). Per la verifica dei progressi fatti dai singoli paesi, è stato elaborato un nuovo sistema di monitoraggio e raccolta dati basato su indicatori di impatto e di *performance*, da valutare con cadenza biennale.

Tra gli undici indicatori di impatto, sono stati scelti due indicatori "obbligatori" per il primo ciclo di *reporting*, concluso a fine 2012:

- proporzione della popolazione al di sotto della soglia di povertà nelle aree affette;
- *land cover status*.

Per l'elaborazione del primo indicatore, considerata la mancanza di studi specifici e una definizione univoca di "soglia di povertà" per l'Italia, si è fatto riferimento ai censimenti ISTAT (2001, 2011) e alle mappature di vulnerabilità alla desertificazione recentemente realizzate; è stata valutata la popolazione residente in comuni rurali⁵¹ (quindi particolarmente soggetti ai rischi della perdita dei servizi ecosistemici dovuti a desertificazione) e "molto vulnerabili" alla desertificazione (cioè con territorio comunale caratterizzato da un indice ESA > 1,4, maggiore del 30%). In base a tale studio, le aree comunali che soddisfano i due requisiti sono risultate pari a 40.524 km², circa il 30,8% della superficie nazionale e interessano principalmente la Sicilia, la Sardegna, la Puglia, la Basilicata e il Molise. La valutazione del *land cover status* è stata effettuata tramite il primo livello del *Corine Land Cover* (superfici artificiali, aree agricole, foreste e aree seminaturali, zone umide e corpi idrici), confrontando i cambiamenti avvenuti nel periodo 2000-2006.

Con tutti i limiti dovuti alla limitata risoluzione spaziale del *database CLC*, non sono stati registrati per questo indicatore cambiamenti significativi a livello nazionale. Dallo scorso anno, il MATTM, in accordo e in stretto collegamento con gli altri Ministeri interessati, ha avviato la preparazione di una Strategia Nazionale di Adattamento ai Cambiamenti Climatici che dovrebbe concludersi a fine 2013, dopo

La Convenzione delle Nazioni Unite sulla lotta alla siccità e/o desertificazione è lo strumento giuridico internazionale che impegna tutti i Paesi firmatari a cooperare nella lotta alla desertificazione.

⁵¹ Secondo la definizione OCSE, sono considerate "rurali" quelle aree densità di popolazione < a 150 abitanti/Km²

essere stata sottoposta a consultazioni pubbliche. Tale Strategia individua anche la desertificazione, il degrado del territorio e la siccità nonché disastri e dissesto idrogeologico (alluvioni e frane) tra i settori che dovranno essere considerati per la definizione di politiche, programmi, piani e azioni di adattamento.

In parallelo all'avvio del processo di preparazione di tale Strategia, il MATTM ha presentato al CIPE le linee strategiche per il Piano di adattamento ai cambiamenti climatici, la gestione sostenibile e la messa in sicurezza del territorio corredato di opportuni strumenti di finanziamento.

Per quanto riguarda le miniere, la normativa nazionale fa riferimento oltre che al R.D. n. 1443 del 29/07/1927 (Disciplina della ricerca e della coltivazione delle miniere) e al DPR 128/59 (Norme di polizia delle miniere e delle cave), alla Legge n. 388 del 23/12/2000 (prevede un piano straordinario per la bonifica e il recupero ambientale anche di aree *ex* estrattive minerarie), alla Legge n.179 del 31/07/2002 (istituisce il censimento dei siti minerari abbandonati) e al D.Lgs. 117/2008 di recepimento della Direttiva 2006/21/CE (gestione dei rifiuti delle industrie estrattive). Il D.Lgs. 117/08 stabilisce le misure, le procedure e le azioni necessarie a prevenire o ridurre il più possibile eventuali effetti negativi per l'ambiente nonché eventuali rischi per la salute umana, conseguenti alla gestione dei rifiuti prodotti dalle industrie estrattive (miniere e cave). Impone la redazione da parte del responsabile dell'attività estrattiva di un piano di gestione dei rifiuti che deve essere approvato dall'Autorità competente. Prevede, inoltre, la realizzazione di un inventario nazionale delle strutture di ricovero dei rifiuti dei siti minerari abbandonati, da aggiornarsi annualmente, avvalendosi dell'ISPRA. Il decreto interessa anche la gestione dei rifiuti delle cave che, per gli altri aspetti, sono normate da leggi regionali a seguito del trasferimento delle competenze determinato dall'entrata in vigore del DPR n. 616 del 24/7/1977.

La pianificazione dell'attività estrattiva di cava è effettuata mediante i Piani regionali (o provinciali) dell'attività estrattiva (PRAE o PPAE) che, oltre a censire le cave in esercizio o dismesse, contengono prescrizioni circa l'individuazione e la delimitazione delle aree (ambiti territoriali interessati da vincoli), dei fabbisogni, delle modalità di coltivazione, dei tempi di escavazione e dei piani di recupero da seguire nella progettazione dei singoli interventi, in relazione alle diverse situazioni e alle caratteristiche morfologiche. La situazione è però disomogenea: piani approvati in tempi diversi e regioni che non si sono ancora dotate di tali strumenti pianificatori.

In seguito all'introduzione del patrimonio geologico nelle attività di pianificazione paesaggistica (D.Lgs. 42/2004), alcune regioni e province hanno realizzato progetti per il censimento dei geositi presenti sul territorio e, in alcuni casi, li hanno inseriti nei Piani Paesistici regionali e provinciali, primo passo per la loro tutela.

Solo Emilia-Romagna, Liguria e Puglia si sono dotate di una legge per la tutela e la valorizzazione del patrimonio geologico.

Gli scarti delle attività estrattive (cave e miniere) sono regolamentati dal D.Lgs. 117/2008, recepimento della Direttiva 2006/21/CE.

La pianificazione delle attività estrattive è delegata alle regioni tramite appositi Piani Regionali e/o Provinciali.

Diverse regioni hanno avviato progetti per l'identificazione dei geositi.

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 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. La nuova cartografia geologica alla scala 1:50.000, più consona agli studi applicativi, è realizzata dal Servizio Geologico d'Italia dell'ISPRA in collaborazione con le regioni e le province autonome, gli Istituti e i Dipartimenti universitari, e con il Consiglio Nazionale delle Ricerche (Progetto CARG - CARTografia Geologica). Le strutture di ricerca hanno il compito di garantire il supporto scientifico, necessario per la risoluzione delle problematiche da affrontare al fine di garantire la qualità di un foglio geologico, anche attraverso la realizzazione di nuove metodologie. Il Progetto, caratterizzato dall'utilizzo di normative tecniche nazionali redatte appositamente dal Servizio Geologico d'Italia con la collaborazione di esperti e dalla realizzazione di una banca dati geologici, ha prodotto numerosi dati utili per la gestione e la pianificazione territoriale e per la produzione di carte di dettaglio a scopo applicativo.

Il quadro normativo e finanziario predisposto tra il 1988 e il 2004 ha assicurato le risorse necessarie per consentire la produzione di 277 fogli geologici, 14 carte tematiche, 6 fogli di geologia della piattaforma continentale adriatica alla scala 1:250.000, 1 carta morfobatimetrica del bacino del Tirreno, parte del transetto CROP (CROsta Profonda) e l'aggiornamento del catalogo delle formazioni geologiche. Dei 277 fogli geologici a scala 1:50.000, 270 risultano conclusi; 132 di questi sono stati stampati, 54 sono in fase di stampa, 55 in allestimento per la stampa e per 29 sono stati terminati i rilevamenti (Figura 9.27).

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

ISPRA – Servizio Geologico d'Italia è l'organo cartografico dello Stato.

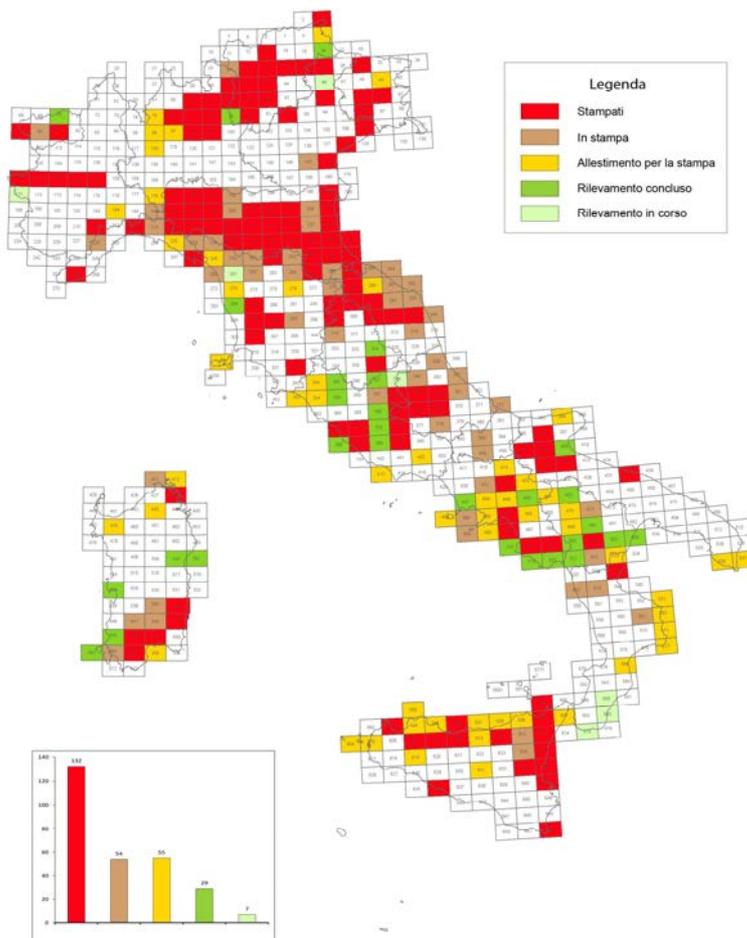


Figura 9.27: Stato di attuazione del Progetto CARG (Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50.000 (marzo 2013))⁵²

Le risorse assegnate al Progetto CARG non sono state costanti. Solo due sono stati i finanziamenti più consistenti, nel 1989 e nel 1999. Dal 1999 non sono state emanate norme che prevedevano nuovi finanziamenti per il proseguimento del Progetto. Alla luce di quanto sopra illustrato, si configura pertanto la necessità per i prossimi anni di un nuovo intervento normativo, con la necessaria copertura finanziaria, per avviare una seconda fase del Progetto in modo da realizzare i restanti fogli a copertura dell'intero territorio nazionale e la loro informatizzazione. Sarebbe inoltre necessario dare seguito alla produzione, oltre che della carta geologica di base, anche di cartografia geotematica, che fornisce ulteriori informazioni di carattere morfologico, idrogeologico, gravimetrico, di stabilità dei versanti quindi essenziale soprattutto per la conoscenza delle condizioni generali di rischio e di vulnerabilità del territorio. La sua realizzazione dovrà in ogni caso seguire quella della carta geologica a pari scala, che ne costituisce il presupposto fondamentale.

⁵² Fonte: ISPRA

BOX DI APPROFONDIMENTO

Il consumo di suolo

Le cause e le conseguenze del consumo di suolo

Con consumo del suolo si intende il crescente insieme di aree coperte da 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.

Il consumo di suolo si estende, pertanto, anche in ambiti rurali e naturali, oltre l'area tradizionale di insediamento urbano al cui interno, al contrario, possono permanere aree naturali o seminaturali dove il suolo conserva alcune delle sue funzioni ecosistemiche fondamentali. È quindi un fenomeno collegato all'utilizzo di suolo extraurbano, adibito a uso agricolo o naturale per fini insediativi.

Un processo che comporta la perdita, attraverso la cementificazione e l'impermeabilizzazione, di un bene comune, il suolo appunto, la cui disponibilità è sempre più limitata.

La progressiva espansione delle aree urbanizzate e le sempre più diffuse dinamiche insediative dello *sprawl* urbano comportano una forte accelerazione dei processi di consumo dei suoli agro-forestali.

La costruzione di edifici, di strade o altri usi del suolo comportano generalmente l'asportazione o l'impermeabilizzazione del suolo stesso (*soil sealing*), dovuta alla sua compattazione o copertura permanente con materiali impermeabili come calcestruzzo, metallo, vetro, catrame e plastica

In tali casi il cambiamento della natura del suolo è tale che queste forme di trasformazione possono considerarsi praticamente irreversibili

Le funzioni produttive sono inevitabilmente compromesse, così come la possibilità di assorbire CO₂ o di fornire supporto e sostentamento per la componente biotica dell'ecosistema, di garantire la biodiversità o la fruizione sociale. Si incrementa la frammentazione degli *habitat*, con la possibile interruzione dei corridoi migratori per le specie selvatiche.

In aree urbane il clima diventa più caldo e secco a causa della minore traspirazione vegetale e dell'evaporazione e delle più ampie superfici con un alto coefficiente di rifrazione del calore. Inoltre, un suolo compromesso dall'espansione delle superfici artificiali e impermeabilizzato non è più in grado di trattenere una buona parte delle acque di precipitazione atmosferica e di contribuire a regolare il deflusso superficiale.

Il dilavamento dei suoli a causa delle acque di scorrimento superficiale determina anche un incremento del carico solido, in molti casi con elevati contenuti in sostanze inquinanti, provocando un forte impatto sulla qualità delle acque superficiali e sulla vita acquatica.

La situazione in Europa e in Italia

In mancanza di politiche efficaci di governo del territorio e di gestione del patrimonio naturale, l'espansione delle aree urbanizzate in Italia e in Europa ha spesso comportato la perdita di aree agricole ad alto valore ambientale e culturale.

Un quadro omogeneo della situazione a livello europeo è disponibile sulla base dei dati *Corine Land Cover* (CLC) che, tuttavia, hanno una risoluzione non sufficiente per una stima accurata del fenomeno del consumo di suolo dovuto all'urbanizzazione. Infatti, essi non considerano i singoli cambiamenti di copertura del suolo inferiori ai cinque ettari o dovuti a infrastrutture lineari come strade e ferrovie, portando a sottostimare notevolmente il fenomeno del consumo di suolo.

Le analisi dell'Agenzia Europea dell'Ambiente sui dati CLC, riportate all'interno del rapporto "*European environment - state and outlook 2010*", mostrano che i cambiamenti di copertura del suolo tra il 2000 e il 2006 rappresentano l'1,3% della superficie dei 36 Paesi studiati (68.353 km² su 5,42 milioni di km²). Il tasso di cambiamento annuale è diminuito rispetto al periodo 1990-2000 ma con differenze sostanziali tra i vari Paesi. La copertura artificiale del suolo è cresciuta del 3,4% tra il 2000 e il 2006. Benché nell'Unione Europea le aree urbane coprano solo il 4% della superficie (il 5% in Italia), la loro dispersione comporta che almeno un quarto del territorio sia direttamente coinvolto da un uso "urbano". Inoltre, le aree peri-urbane a bassa densità sono aumentate, tra il 2000 e il 2006, quattro volte più velocemente delle aree urbane compatte ad alta densità, mostrando una tendenza crescente alla dispersione urbana in Europa.

Sulla base dei dati forniti dall'Agenzia Europea dell'Ambiente, un rapporto pubblicato nel 2011 dalla Commissione Europea (*The Soil Sealing Report*) stima che la quota d'incremento di terreno occupato nell'UE fra il 1990 e il 2000 fosse circa 1.000 km² l'anno; dal 2000 al 2006, l'incremento della quota di terreno occupato è sceso a 920 km² l'anno, ma non si sa ancora se questa tendenza possa dirsi confermata per il futuro. Il risultato è che nel 2006 ogni cittadino dell'UE aveva un'impronta di occupazione del territorio di circa 390 m², vale a dire 15 m² in più rispetto al 1990. Di questi 390 m², circa 200 m² sono effettivamente impermeabilizzati, cioè coperti da cemento o asfalto, per un totale di 100 000 km², ovvero il 2,3% del territorio dell'UE. Per quanto riguarda l'Italia, i dati dell'AEA valutano nel 2,8% la percentuale di territorio cementificata, quindi al di sopra della media europea.

In Italia, i dati CLC, pur considerando solo i maggiori cambiamenti e trascurando una buona parte della continua dispersione sul territorio di infrastrutture e di insediamenti, mostrano una crescita delle superfici artificiali pari a circa 80.000 ettari nel periodo 1990-2000 (crescendo complessivamente più del 6%) e di circa 50.000 ettari nel periodo 2000-2006 (più del 3%). L'incremento delle aree artificiali ha una distribuzione non omogenea tra le diverse regioni. Oltre il 60% delle trasformazioni tra il 1990 e il 2006 è concentrato in sei regioni (Piemonte, Lombardia, Veneto, Emilia-Romagna, Toscana e Sardegna).

Se il tasso nazionale annuo di crescita rimane pressoché costante in questo periodo, pari a circa 8.000 ettari l'anno, ci sono regioni come la Lombardia che passano da un tasso di 500 ettari l'anno del periodo 1990-2000 a 1.000 ettari l'anno tra il 2000 e il 2006.

Il Veneto presenta un andamento analogo (da 600 a 1.300 ettari l'anno). La Sardegna, al contrario, vede il tasso di urbanizzazione annua passare da un valore di 1.200 ettari l'anno tra il 1990 e il 2000 a meno di 300 (2000-2006).

Per assicurare una stima accurata del consumo di suolo in Italia e un quadro conoscitivo omogeneo a livello nazionale superando i limiti di accuratezza dei dati *Corine*, ISPRA, in collaborazione con il Sistema agenziale, ha sviluppato un sistema di monitoraggio puntuale che rappresenta oggi la più significativa collezione di dati a livello nazionale, ricostruendo l'andamento del consumo di suolo dal secondo dopoguerra al 2010.

La metodologia di rilevazione sviluppata, l'unica dedicata specificamente al tema del consumo di suolo, è in grado di integrare diverse fonti di dati con i dati locali e i dati di osservazione della terra a livello europeo, anche nell'ambito del programma Copernicus (già noto come GMES - *Global Monitoring for Environment and Security*), utilizzando analisi cartografiche e aero-fotogrammetriche. Tale metodologia si articola in tre fasi principali: fotointerpretazione, integrazione di dati locali con dati di osservazione della terra a livello europeo, elaborazione degli indicatori.

Nella fase di fotointerpretazione sono stati monitorati 120.000 punti di una rete stratificata sull'intero territorio italiano. Questo monitoraggio di tipo puntuale ha consentito di superare il limite della minima unità cartografata tipica delle cartografie tematiche come il *Corine Land Cover*.

I dati ISPRA mostrano come, a livello nazionale, il consumo di suolo sia passato dal 2,8% degli anni '50 al 6,9% del 2010, con un incremento di più di 4 punti percentuali. Ciò significa che sono stati consumati, in media, più di 7 metri quadrati al secondo per oltre 50 anni. Il periodo in cui il consumo di suolo è stato più rapido risulta quello degli anni novanta, in cui si sono sfiorati i 10 metri quadrati al secondo, ma anche il periodo più recente si distingue per un consumo di suolo piuttosto accelerato (più di 8 metri quadrati al secondo). In pratica, ogni 5 mesi viene cementificata una superficie pari a quella del comune di Napoli, ogni anno una superficie pari alla somma di quelle dei comuni di Milano e di Firenze.

In termini assoluti, si stima che, dai circa 8.000 km² di suolo consumato nel secondo dopoguerra, si è passati a più di 20.500 km² nel 2010. Un aumento che non si può spiegare solo con la crescita demografica: se negli anni '50 erano irreversibilmente persi 170 m² per ogni italiano, nel 2010 il valore di superficie consumata pro-capite è raddoppiato, passando a più di 340 m² per abitante. Il fenomeno è maggiormente diffuso nel Nord Italia. La Lombardia è in assoluto la regione con la maggiore superficie consumata, superiore al 10% del territorio regionale, seguita dal Veneto, dall'Emilia-Romagna, dalla Puglia e dal Lazio.

Ma se il Nord è la zona con la più elevata percentuale di superficie consumata, è il Sud a registrare gli incrementi maggiori negli ultimi 60 anni. Il fenomeno assume proporzioni preoccupanti nelle grandi aree di pianura, dove agli effetti indotti dall'urbanizzazione devono essere sommati anche quelli derivanti dall'agricoltura intensiva (compattazione dei suoli).

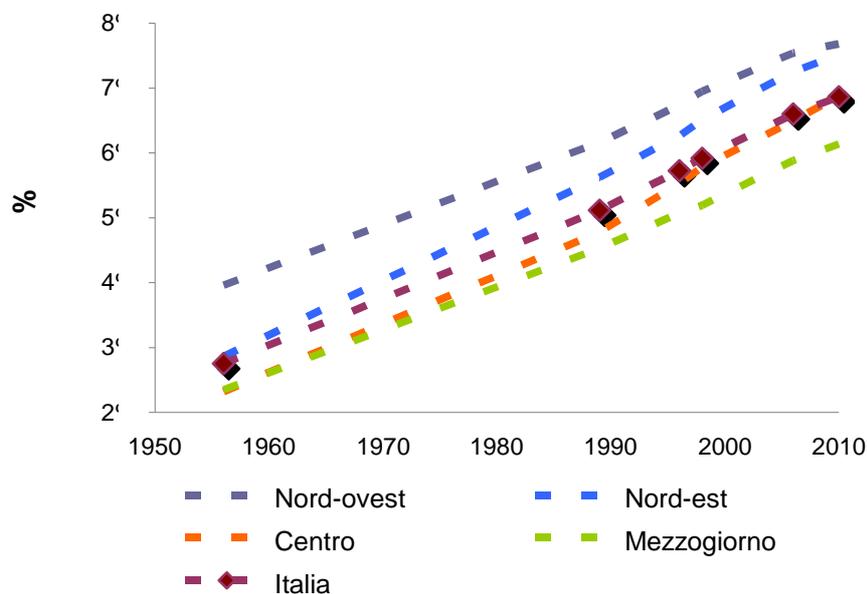


Figura 1: Evoluzione del suolo consumato in Italia dovuto all'espansione delle coperture artificiali⁵³

Nelle principali aree urbane, il consumo di suolo ha riguardato, in alcuni casi, anche per più della metà del territorio comunale (più del 60% nei comuni di Milano e Napoli), con un *trend* crescente che ha visto, nel solo comune di Roma, un incremento della superficie impermeabile pari a più di trecento ettari annui negli ultimi anni.

⁵³ Fonte: ISPRA (I dati 1946-1960 sono ricavati dalla cartografia topografica realizzata dall'Istituto Geografico Militare)

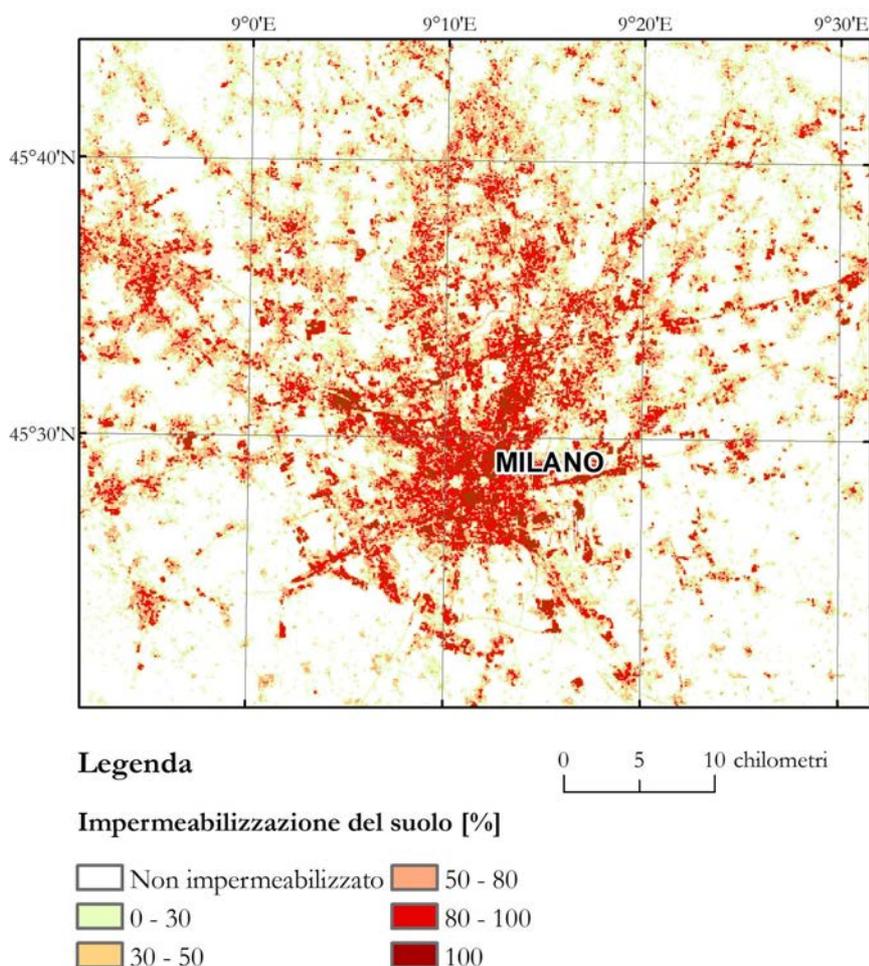


Figura 2: L'impermeabilizzazione del suolo nell'area di Milano nel 2009⁵⁴

Politiche di gestione sostenibile del territorio e del suolo

L'obiettivo primario da perseguire dovrebbe essere quello della riduzione del tasso di trasformazione dal territorio agricolo e naturale ad artificiale con la perdita di aree ad alto valore ambientale e culturale. In accordo con quanto già realizzato in altri Paesi europei, sarebbe necessaria l'adozione, anche in Italia e con gli opportuni strumenti e livelli di governo del territorio, di efficaci misure che possano consentire di limitare e contenere il consumo di suolo. Gli strumenti di pianificazione territoriale dovrebbero assicurare un approccio integrato a tre livelli, come indicato dalla Direzione Generale per l'ambiente della Commissione Europea: limitazione, mitigazione e compensazione. Innanzitutto dovrebbe essere garantito e incentivato il riuso delle aree già urbanizzate, evitando l'espansione e la diffusione delle città con nuovi insediamenti residenziali, direzionali, commerciali, industriali e il conseguente consumo e impermeabilizzazione di suolo agricolo o naturale. Quando il *soil sealing* e il consumo del suolo sono previsti e inevitabili, devono essere individuate, definite e implementate adeguate misure di

⁵⁴ Fonte: EEA - *Degree of soil sealing* 2009

mitigazione volte al mantenimento delle funzioni del suolo e alla riduzione degli effetti negativi sull'ambiente. Infine, solo nel caso in cui le misure di mitigazione per gli interventi inevitabili non siano ritenute sufficienti, potrebbero essere presi in considerazione interventi di compensazione finalizzati al recupero e al ripristino di aree limitrofe degradate.

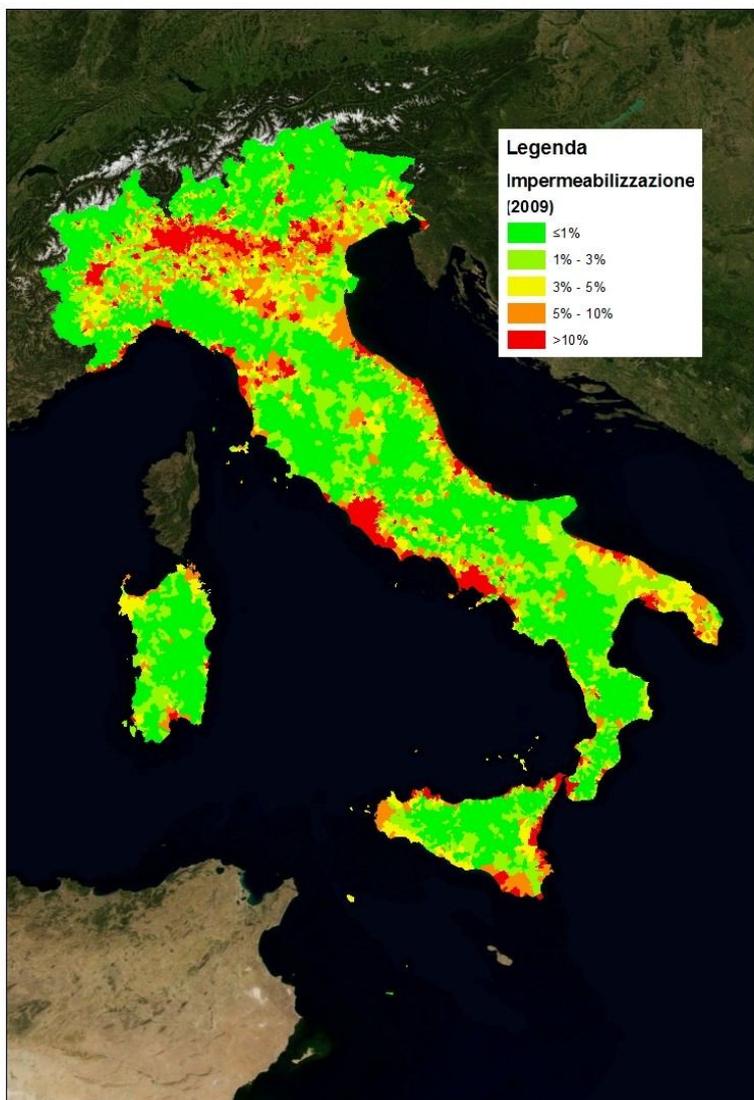


Figura 3: Carta nazionale dell'impermeabilizzazione del suolo (2006)⁵⁵

⁵⁵ Fonte: Elaborazione ISPRA su dati Copernicus 2009 (progetto Geoland 2)

GLOSSARIO

Brownfields:

Aree dismesse (industriali o commerciali) comprese in ambito urbano o di immediata periferia, già dotate delle opere di urbanizzazione (luce, acqua, gas, rete fognaria, etc.) e prossimi alle infrastrutture per la mobilità e il trasporto, dove l'espansione o il recupero sono ostacolati da inquinamento ambientale.

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.

Desertizzazione:

Processo di espansione dei deserti sabbiosi.

Orizzonte:

In una sezione verticale del suolo, dalla superficie sino al substrato pedogenetico, è normalmente possibile riconoscere una serie di strati con andamento parallelo alla superficie: essi prendono nome di orizzonti (in inglese *horizons o layers*) e si distinguono per caratteristiche peculiari dipendenti dai processi pedogenetici. Vengono pertanto detti anche orizzonti genetici e la loro designazione è basata su un giudizio qualitativo dell'origine del suolo analizzato. La successione verticale degli orizzonti costituisce il profilo pedologico.

Pedogenesi:

Processo di formazione del suolo a partire per lo più da detriti minerali provenienti dalla disgregazione delle rocce (substrato pedogenetico). Si realizza attraverso processi di trasformazione, accumulo, perdita e traslocazione dovuti ad un insieme di fattori pedogenetici: clima, roccia, morfologia, esseri viventi e tempo.

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.