INTRODUZIONE

Il suolo, spesso definito come una risorsa naturale di valore inestimabile ma frequentemente sottovalutata, costituisce la base per la vita sulla Terra e supporta una vasta gamma di funzioni ecosistemiche essenziali. La sua importanza trascende la mera produzione agricola, estendendosi alla regolazione del ciclo idrologico, alla conservazione della biodiversità, al sequestro del carbonio e alla mitigazione dei cambiamenti climatici. Tuttavia, questo patrimonio ambientale è sempre più minacciato da una serie di fattori interconnessi, tra cui l'inquinamento, l'erosione, la desertificazione, il consumo di suolo e gli effetti sempre più evidenti dei cambiamenti climatici. La crescente domanda globale di cibo, foraggio e fibre, prevista in aumento fino al 60% entro il 2050 a causa delle tendenze demografiche attuali e della crescita della popolazione mondiale, esercita una pressione senza precedenti sulle risorse del suolo. L'espansione delle aree urbane e delle infrastrutture connesse, guidata da livelli salariali più elevati e da un aumento dei vantaggi socioeconomici, contribuisce ulteriormente al consumo di suolo e al suo degrado. Di fronte a queste sfide pressanti, il presente elaborato si propone di analizzare in modo approfondito l'effettiva tutela giuridica del suolo nel contesto italiano ed europeo, e di indagare le potenzialità della bioeconomia circolare come modello innovativo per la sua protezione e valorizzazione sostenibile. La questione centrale che guida questa ricerca è se gli strumenti normativi esistenti siano adeguati a garantire la conservazione del suolo di fronte alle molteplici minacce che lo affliggono, e se la bioeconomia circolare possa rappresentare una leva strategica per promuovere una gestione del suolo che coniughi lo sviluppo economico, la salvaguardia ambientale e la giustizia sociale. L'analisi si articolerà in quattro capitoli, ognuno dei quali affronterà aspetti specifici della complessa relazione tra suolo, diritto e bioeconomia. Il capitolo introduttivo esplorerà le caratteristiche chimico-fisiche del suolo, evidenziandone la complessità e la diversità. Si analizzeranno in dettaglio le molteplici funzioni ecosistemiche svolte dal suolo, dalla produzione di biomassa alla regolazione del ciclo dell'acqua,

dalla conservazione della biodiversità al sequestro del carbonio. Particolare attenzione sarà dedicata all'analisi dello stato di salute del suolo a livello globale, con un focus sulle regioni più vulnerabili e sulle principali minacce che gravano su questa risorsa, come l'inquinamento da sostanze chimiche, l'erosione causata da pratiche agricole non sostenibili, la desertificazione indotta dai cambiamenti climatici e il consumo di suolo dovuto all'espansione urbana e infrastrutturale. L'obiettivo è quello di fornire una base scientifica solida per comprendere appieno la vulnerabilità del suolo e l'urgenza di adottare misure di tutela efficaci e integrate. Saranno inoltre esaminate le pratiche di gestione sostenibile del suolo che possono contribuire a preservarne la fertilità, la biodiversità e la capacità di fornire servizi ecosistemici essenziali. Il secondo capitolo si concentrerà sull'analisi del quadro normativo relativo alla protezione del suolo, a livello internazionale, europeo e nazionale, esaminando le convenzioni internazionali in materia di desertificazione, biodiversità e cambiamenti climatici, valutando il loro impatto sulla protezione del suolo. Un'attenzione particolare sarà dedicata all'analisi delle direttive europee in materia ambientale, come la Direttiva Quadro sulle Acque, la Direttiva Nitrati e la nuova Strategia per il Suolo, valutando la loro efficacia nel garantire la protezione del suolo e nel promuovere pratiche di gestione sostenibile. Sarà inoltre esaminata la legislazione italiana in materia di tutela del suolo, con un focus sull'evoluzione della normativa nazionale e sul riparto di competenze tra Stato e Regioni. Si analizzerà inoltre in modo specifico l'evoluzione della tutela del suolo nella Costituzione italiana, a partire dalle prime pronunce della Corte costituzionale fino alle più recenti modifiche che hanno introdotto il riferimento alla tutela dell'ambiente e della biodiversità. Lo scopo sarà quello di verificare se l'ordinamento giuridico vigente offre una protezione adeguata al suolo, quali sono le lacune normative e quali sono i margini di miglioramento per garantire una tutela più efficace e coerente. Il terzo capitolo introdurrà il concetto di bioeconomia circolare, definendone i principi fondamentali, le sfide e le opportunità, analizzando il quadro normativo europeo per lo sviluppo della bioeconomia circolare, con

particolare attenzione al *Green Deal*, al Pacchetto per l'Economia Circolare e alle strategie per la promozione di un'economia più sostenibile e circolare. Saranno esaminati gli strumenti normativi volti a promuovere l'uso di biomasse sostenibili, la riduzione dei rifiuti organici, il riciclo dei nutrienti e la produzione di bioprodotto innovativi. Un'attenzione particolare sarà dedicata all'analisi del ruolo della responsabilità estesa del produttore (REP) nel promuovere la progettazione ecocompatibile e il riutilizzo e il riciclo dei prodotti. Il proposito di questo capitolo sarà quello di valutare se la bioeconomia circolare può rappresentare un modello efficace per la protezione e la valorizzazione del suolo, e quali sono le condizioni normative, economiche e sociali per la sua piena realizzazione. Saranno inoltre analizzati i potenziali impatti della bioeconomia circolare sulla gestione del suolo, con particolare attenzione alla riduzione dell'uso di fertilizzanti chimici, alla promozione dell'agricoltura biologica e alla valorizzazione dei servizi ecosistemici forniti dal suolo. L'ultimo capitolo si concentrerà sull'analisi della strategia italiana per la bioeconomia, valutando le politiche e gli strumenti introdotti per promuovere lo sviluppo di un'economia basata sulle risorse biologiche rinnovabili. Si analizzeranno i punti di forza e di debolezza della strategia italiana, con particolare attenzione al ruolo del Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza (PNRR) e alle opportunità offerte dalla bioeconomia organica e dall'industria *bio-based*. Saranno esaminati i progetti e gli investimenti previsti dal PNRR per la promozione della bioeconomia circolare, valutando il loro potenziale impatto sulla protezione del suolo e sulla transizione verso un'agricoltura più sostenibile, con un'attenzione particolare all'analisi delle filiere agroindustriali italiane che possono contribuire alla valorizzazione dei sottoprodotti e dei rifiuti organici, alla produzione di bioprodotto a valore aggiunto e alla riduzione dell'impatto ambientale dell'agricoltura. La finalità di questo capitolo sarà quello di individuare le leve per accelerare la transizione verso una bioeconomia circolare in Italia, per massimizzare i benefici per la protezione del suolo e per promuovere uno sviluppo economico più sostenibile e inclusivo. Saranno inoltre analizzati i casi di

studio di successo di imprese e territori italiani che hanno saputo valorizzare le risorse biologiche locali per promuovere la bioeconomia circolare e la protezione del suolo. In conclusione, questa tesi si propone di fornire un contributo originale e approfondito alla riflessione sulla tutela del suolo, auspicando un approccio integrato e multidisciplinare che sappia coniugare strumenti giuridici, politiche economiche, innovazione tecnologica e partecipazione dei cittadini.

IL SUOLO, UNA MATRICE AMBIENTALE A RISCHIO?

1.1 LE CARATTERISTICHE CHIMICO-FISICHE DEL SUOLO

Il suolo è uno dei beni più preziosi dell'umanità, consentendo la vita dei vegetali, degli animali e dell'uomo sulla superficie della Terra¹. Si tratta di un sistema naturale che riveste, con una continuità interrotta solamente dai ghiacciai, dalle acque e dalle rocce, le parti emerse della superficie terrestre²; è come un manto che copre continuamente il paesaggio, diventandone infine parte integrante³. Esso è costituito da varie particelle, prevalentemente roccia, sabbia e argilla, da materia organica derivata da residui vegetali, animali e organismi (batteri e miceti), oltre che da aria ed acqua⁴. In termini percentuali è un'entità composta per circa il 50% da solidi, per circa il 25% da acqua, e per il restante 25% da aria; quindi, la parte maggiore è la componente solida, che è composta per il 90% da particelle minerali, mentre il residuo 10% è formato da sostanza organica⁵. Lo strato attivo del suolo è quello più prossimo alla superficie, per questo risulta essere la fascia più produttiva e più importante, essendo quella che contiene la maggiore quantità di sostanza organica⁶: la sostanza organica è composta da tessuti vegetali ed animali a diversi stadi di decomposizione più o meno lenti, la cui intensità è strettamente legata alle condizioni climatiche ambientali⁷, di cui l'ultimo stadio porta alla formazione delle sostanze umiche⁸, le quali influiscono notevolmente sulla fertilità del suolo,

¹ CONSIGLIO D'EUROPA, *Carta europea del suolo*, Strasburgo, giugno 1972.

² A. DI FABBIO – F. FUMANTI, *Il suolo, la radice della vita*, in APAT, 2008, 12.

³ D. MAGALDI – G.A. FERRARI, *Conoscere il suolo, introduzione alla pedologia*, Etas libri, 1984, 4.

⁴ AGENZIA EUROPEA DELL'AMBIENTE, *Suolo e territorio in Europa, perché dobbiamo usare in modo sostenibile queste risorse vitali e limitate*, in EEA SEGNALI 2019, 2019, 6.

⁵ SOCIETÀ ITALIANA DI PEDOLOGIA, *Cos'è il suolo*, in *Pillole di suolo*, 1.

⁶ AGENZIA EUROPEA DELL'AMBIENTE, *Suolo e territorio in Europa, perché dobbiamo usare in modo sostenibile queste risorse vitali e limitate*, in EEA SEGNALI 2019, 2019, 6.

⁷ D. MAGALDI – G.A. FERRARI, *Conoscere il suolo, introduzione alla pedologia*, Etas libri, 1984, 18.

⁸ Sostanze naturali che si formano a seguito della biodegradazione da parte di microrganismi di sostanza organica che può essere sia vegetale che animale. AGRITALIA, *Sostanze umiche, materie organiche, Humus, Umati, Humin, Acidi Umici e Fulvici: la loro importanza per la fertilità del terreno e per la salute delle piante*.

difatti sono la fonte principale di molti nutrienti essenziali per la crescita e il sostentamento delle piante⁹.

Il suolo è una risorsa naturale di grande valore, ma spesso sottovalutata¹⁰: difatti possono essere necessari fino e oltre mille anni per formare un centimetro suolo¹¹. I fattori principali che contribuiscono a dare origine ad un suolo sono detti “fattori di formazione del suolo”, e sono principalmente il tempo, il materiale parentale, il clima, gli organismi e la geomorfologia¹²: la formazione di un suolo inizia con l’azione alterante degli agenti ambientali su un determinato materiale, che lo riducono in frammenti; questi frammenti vengono trasformati dagli organismi pionieri, e al materiale originario si aggiungo gradualmente i resti di organismi vegetali ed animali, venendosi così a creare un terreno che gli organismi e gli agenti climatici modificano ulteriormente¹³.

1.2 LE FUNZIONI DEL SUOLO

Il suolo svolge un ruolo fondamentale per gli esseri umani perché, attraverso le sue funzioni, fornisce i servizi ecosistemici, indispensabili alla vita sulla terra. I servizi ecosistemici sono definiti come i benefici (o contributi) che l’uomo ottiene, direttamente o indirettamente, dagli ecosistemi. Si suddividono in: servizi per l’approvvigionamento; servizi di regolazione e mantenimento; servizi culturali¹⁴. Inoltre, esso è essenziale per produrre colture, mangimi, fibre, combustibili; filtra e purifica decine di migliaia di km³ di acqua l’anno; è il più grande serbatoio di carbonio,

⁹ SOCIETÀ ITALIANA DI PEDOLOGIA, *Cos’è il suolo*, in *Pillole di suolo*, 1-2.

¹⁰ FAO, *Il suolo è una risorsa non rinnovabile, la sua conservazione è fondamentale per la sicurezza alimentare e il nostro futuro sostenibile*, 2015, 1.

¹¹ FAO, *La salute dei suoli rappresenta la base per una produzione alimentare sana*, 2015, 4; CNBBSV, *Iniziativa a sostegno dell’apporto del carbonio organico al suolo*, 31 ottobre 2024, 1.

¹² SOCIETÀ ITALIANA DI PEDOLOGIA, *Cos’è il suolo*, in *Pillole di suolo*, 2.

¹³ Per approfondire la composizione e le funzioni del suolo v. ARPAV, *Il suolo – formazione, proprietà e funzioni*, 2022.

¹⁴ Per approfondire i servizi ecosistemici v. M. MUNAFÒ (a cura di), *Consumo del suolo, dinamiche territoriali e servizi ecosistemici*, Report SNPA 08/19, Edizione 2019; v. anche R. SANTOLINI, *Servizi ecosistemici e sostenibilità*, in *Ecoscienza* numero 3, 2020.

contribuendo a regolare le emissioni di anidride carbonica e di altri gas ad effetto serra, il che è alla base della regolazione del clima¹⁵.

Risulta necessario quindi mantenere un suolo sano, che significa garantire la sua capacità di funzionare come un sistema vivente. Un suolo sano mantiene una comunità diversificata di organismi che contribuiscono a controllare le malattie delle piante, gli insetti e le erbe infestanti, a formare utili associazioni simbiotiche con le radici, a riciclare nutrienti essenziali, a migliorare la struttura del suolo con effetti benefici sulle capacità di quest'ultimo di trattenere acqua e nutrienti e, in ultima analisi, a migliorare la produzione agricola¹⁶.

Fondamentale diventa la fertilità del suolo, che definisce l'attitudine del suolo, utilizzato per fini agronomici, a consentire abbondante produzione vegetale¹⁷. Più precisamente, la fertilità è espressa dal rendimento massimo che è possibile ottenere da un suolo coltivato con le specie vegetali più adeguate alle condizioni climatiche dello specifico ambiente. Pertanto, la propensione a produrre non è funzione delle sole caratteristiche del suolo, ma rappresenta la potenzialità produttiva del sistema, considerato come insieme pedoclimatico¹⁸. Per fare in modo che vi sia lo sviluppo ottimale di una determinata coltura, è necessario principalmente l'esistenza di riserve sufficienti di fattori di crescita e delle condizioni che permettono alle radici di utilizzare i singoli fattori¹⁹. Per questo la continua asportazione di nutrienti dal suolo, non opportunamente reintegrati nel tempo, induce una progressiva riduzione della fertilità del sistema e rende necessaria la

¹⁵ IPCC, *Usa del suolo, variazione d'uso del suolo e silvicoltura. Sintesi per decisori politici*, 2000, 3-4. Inoltre, per approfondire l'importanza del suolo nel contenere il carbonio, v. FAO, *Sequestro di carbonio nei suoli aridi*, 2004; v. anche FAO, *Linee guida volontarie per la Gestione Sostenibile del Suolo*, 2019.

¹⁶ FAO, *La salute dei suoli rappresenta la base per una produzione alimentare sana*, 2015, 1.

¹⁷ G. MASCIANDARO – B. CECCANTI, *Miglioramento della biofertilità del suolo tramite la tradizione e l'innovazione*, in P. GAGLIARDO (a cura di), *Lotta alla siccità e alla desertificazione*, AGEI – Geotema 25, Anno IX, gennaio-aprile 2005, 42.

¹⁸ P. VIOLANTE, *Chimica e fertilità del suolo*, Edagricole, 2013, 1.

¹⁹ *Ibidem*.

somministrazione di concimi, i quali possono andare a provocare l'inquinamento delle falde acquifere²⁰.

1.3 LO STATO DI SALUTE DEI SUOLI NEL MONDO

È innegabile che i nostri suoli stiano subendo un degrado costante²¹, difatti l'Agenzia Europea dell'Ambiente (EEA) evidenzia la progressiva riduzione dell'umidità nel suolo²² come uno dei principali indicatori di questa crisi. Questa condizione impone una maggiore irrigazione dei terreni agricoli, rischiando di causare una diminuzione dei raccolti o, nel peggiore dei casi, la desertificazione. Le implicazioni di tale fenomeno sono gravi e potrebbero compromettere la capacità delle future generazioni di soddisfare i loro bisogni essenziali, soprattutto in merito alla produzione alimentare²³. La crescente domanda globale di cibo, foraggio e fibre è destinata ad aumentare fino al 60% entro il 2050, a causa delle tendenze demografiche attuali e della prevista crescita della popolazione mondiale²⁴. Tuttavia, le opportunità per espandere le aree agricole sono limitate. Alcune zone dell'Africa e del Sud America offrono potenziali spazi per l'espansione agricola, ma molti di questi terreni non sono idonei per l'agricoltura e i costi per renderli produttivi sono proibitivi²⁵.

In questo contesto storico, la sostenibilità nell'agricoltura mondiale²⁶ emerge come un imperativo ineludibile. È fondamentale invertire la tendenza del degrado del suolo per garantire la sicurezza alimentare sia attuale che futura. Studi recentemente condotti rivelano che circa il 33% dei

²⁰ P. VIOLANTE, *Chimica e fertilità del suolo*, Edagricole, 2013, 441.

²¹ AGENZIA EUROPEA DELL'AMBIENTE, *Suolo e territorio in Europa, perché dobbiamo usare in modo sostenibile queste risorse vitali e limitate*, in EEA SEGNALI 2019, 2019, 7.

²² Per approfondire l'importanza dell'umidità nel suolo, v. F. FUSTO, *Umidità del suolo*, in *climadat.isprambiente.it*.

²³ AGENZIA EUROPEA DELL'AMBIENTE, *Suolo e territorio in Europa, perché dobbiamo usare in modo sostenibile queste risorse vitali e limitate*, in EEA SEGNALI 2019, 2019, 21. Inoltre, per approfondire la tematica della produzione alimentare, v. AGENZIA EUROPEA DELL'AMBIENTE, *Key findings – Climate change, impacts and vulnerability in Europe*, 2016.

²⁴ ESGNEWS, *Cibo del futuro: tutto sulle innovazioni alimentari*, 16 febbraio 2024.

²⁵ FAO, *Il suolo è una risorsa non rinnovabile, la sua conservazione è fondamentale per la sicurezza alimentare e il nostro futuro sostenibile*, 2015, 1.

²⁶ Agricoltura sostenibile che è stata inserita dall'Italia come Componente 1 della Missione 2 del PNRR.