

Allianz Research | 19 Aprile 2024

Un'analisi costi-benefici delle misure di abbattimento per aumentare la capacità di assorbimento del carbonio nel suolo

Executive summary

Arne Holzhausen,
Markus Zimmer

Haki Pamuk
Senior Researcher
haki.pamuk@wur.nl

Marcia Arredondo Rivera
Researcher
marcia.arredondorivera@wur.nl

Marcia Arredondo Rivera
Researcher
marcia.arredondorivera@wur.nl

Nico Polman
Senior Researcher
nico.polman@wur.nl

Willem-Jan van Zeist
Researcher
willem-jan.vanzeist@wur.nl

- Il deficit di finanziamento della biodiversità è dovuto principalmente a una lacuna di conoscenza: la valutazione dei servizi ecosistemici. I servizi ecosistemici sono i contributi diretti e indiretti che gli ecosistemi (noti come capitale naturale) forniscono al benessere umano e alla qualità della vita. Possono essere di tipo pratico, come la fornitura di cibo e acqua o la regolazione del clima. Siamo consapevoli che la produttività e le funzioni regolatrici degli ecosistemi hanno un grande valore per i nostri settori economici, ma abbiamo una scarsa comprensione del prezzo di questo valore, per non parlare dei costi (e dei benefici) dell'abbattimento dei servizi ecosistemici in declino.
- Uno dei servizi ecosistemici più importanti è quello fornito dal suolo come pozzo di carbonio per la regolazione del clima, stoccaggio di carbonio organico e aiuto nella regolazione dei livelli di anidride carbonica nell'atmosfera. Meccanismi efficaci di determinazione del prezzo del carbonio, come le compensazioni di carbonio, sono essenziali per finanziare le attività che migliorano la qualità del suolo e sequestrano il carbonio, colmando così il divario di finanziamento della biodiversità e promuovendo pratiche ambientali economicamente sostenibili. La Strategia per il suolo dell'UE per il 2030 e il Quadro di certificazione delle emissioni di carbonio dell'UE sono iniziative cruciali volte ad aumentare il contenuto di carbonio organico del suolo (SOC) e a raggiungere la neutralità climatica del territorio entro il 2035. Questi sforzi sono fondamentali per la transizione verso un'economia neutrale dal punto di vista climatico.
- Per determinare il valore socio-economico del suolo in Europa come fonte di sequestro del carbonio, facciamo riferimento alle stime conservative del costo globale del carbonio del progetto COACCH, che è di 132 dollari per tCO₂-eq¹ globalmente. Questo porta a un valore socioeconomico di circa 18,3 miliardi di

¹ tCO₂-eq (tCO₂ equivalente) riferisce agli equivalenti di CO₂ e converte altri gas serra come il metano in equivalenti di CO₂ utilizzando il potenziale di riscaldamento globale a 100 anni.

dollari (1,1 volte il PIL europeo) attraverso il canale delle emissioni di gas serra. Il valore varia da circa 26 miliardi di dollari a Malta a 3,2 miliardi di dollari in Svezia.

- Le pratiche virtuose di gestione del suolo presentano significative opportunità di compensazione del carbonio - e quindi di transizione - per il settore finanziario. Questo studio esamina cinque misure di miglioramento del suolo - tre pratiche di gestione delle colture (colture di copertura, assenza di lavorazione del terreno e uso di sovescio) e due tecniche più ampie di ripristino del territorio (agroforestale e gestione forestale sostenibile) che possono migliorare la qualità del suolo, in sei Paesi: Germania, Francia, Paesi Bassi, Italia, Spagna e Regno Unito. Tutte queste misure contribuiscono a prevenire l'erosione del suolo, ad aumentare il sequestro del carbonio e a migliorare la biodiversità.
- L'investimento totale richiesto per queste cinque leve è stimato in 32,7 miliardi di dollari (valore attuale delle misure attuali e future) e varia da 13 milioni di dollari per la gestione forestale nei Paesi Bassi a 4,1 dollari per le colture di copertura in Francia. Questi costi sono influenzati principalmente dalle dimensioni dei terreni disponibili nei Paesi, dai tassi di adozione previsti e dai costi di attuazione per ettaro. Si noti che sono necessari 5-10 anni perché queste pratiche di gestione del suolo producano tutti i loro benefici. I benefici socioeconomici sono molto più elevati e raggiungono i 6,7 miliardi di dollari per l'assenza di lavorazione del suolo e i 5,1 miliardi per il sovescio in Francia. Pertanto, la maggior parte delle misure può essere considerata una mossa "senza rimpianti", in quanto è efficace dal punto di vista dei costi e ha un valore socioeconomico molto più elevato dell'investimento richiesto per la sua attuazione.

1 Il gap di conoscenze

Le istituzioni finanziarie sono tenute a effettuare stress test e analisi di portafoglio legati alla biodiversità e a sviluppare strategie in materia di biodiversità.² Queste attività sono fondamentali ai sensi della Corporate Sustainability Reporting Directive (CSRD), che impone a tutte le grandi imprese quotate in borsa - ad eccezione delle microimprese quotate in borsa - di riferire sui rischi e le opportunità percepiti derivanti da questioni sociali e ambientali, nonché sugli impatti delle loro operazioni sulla società e sull'ambiente. Mentre tra i decisori economici, come i governi e le istituzioni finanziarie, vi è una generale consapevolezza, comprensione e accesso a strumenti di misurazione degli impatti del cambiamento climatico, la conoscenza dell'interazione tra la perdita di biodiversità e l'economia rimane limitata. Inoltre, esistono opportunità non sfruttate per passare a un'economia a perdita zero di biodiversità. Questa carenza di conoscenze contribuisce a creare un significativo gap di finanziamento della biodiversità, in gran parte dovuto alla mancanza di comprensione di come valutare i servizi ecosistemici.³ (ES). Questi servizi svolgono un ruolo essenziale nel sostenere

² Come evidenziato dalla BCE (2020) e dalla BCE (2022).

³ I servizi ecosistemici sono i benefici che l'uomo trae da vari aspetti della natura e degli ecosistemi. Una migliore qualità del suolo, ad esempio, è vantaggiosa per l'uomo in quanto aumenta la produzione agricola e immagazzina l'anidride carbonica dall'atmosfera. Questi servizi sono ampiamente classificati in quattro tipi principali:

1. Servizi di fornitura: Includono i prodotti ottenuti dagli ecosistemi, come cibo, acqua, legname, fibre e risorse genetiche.

2. Servizi di regolazione: Sono i benefici ottenuti dalla regolazione dei processi ecosistemici, come la regolazione del clima, la regolazione delle malattie, la purificazione dell'acqua e l'impollinazione.

la vita sulla Terra e forniscono un immenso valore ai settori economici. Tuttavia, la comprensione di come valutare il prezzo di questi servizi è scarsa, tanto meno i costi e i benefici associati alla mitigazione del declino dei servizi ecosistemici. Questo problema è particolarmente critico nel suolo, uno degli ecosistemi più vitali per la biodiversità.

2 Servizi ecosistemici del suolo

Un suolo sano sostiene un sistema vivente ricco di organismi diversi, a vantaggio della produzione agricola, della riduzione delle emissioni di gas serra e della mitigazione dei cambiamenti climatici. Sono quattro i canali principali attraverso i quali il suolo contribuisce al benessere dei sistemi naturali e umani:

Regolazione del clima: Il suolo funge da serbatoio di carbonio per la regolazione del clima, immagazzinando carbonio organico e contribuendo a regolare i livelli di anidride carbonica nell'atmosfera. Il suolo può influenzare il microclima attraverso le proprietà termiche, incidendo sulla temperatura e sull'umidità (FAO, 2015b; Berryman et al., 2020).

Mediazione dei nutrienti: Il suolo funge da serbatoio e mediatore di nutrienti essenziali (azoto, fosforo, potassio, ecc.) per le piante e i microrganismi. Pertanto, l'attività microbica nel suolo è necessaria per decomporre la materia organica e rilasciare i nutrienti per l'assorbimento da parte delle piante (FAO, 2022).

Biodiversità e habitat: Il suolo fornisce habitat e sostentamento a diversi organismi, da batteri e funghi microscopici a organismi più grandi come i lombrichi. Pertanto, la biodiversità nel suolo contribuisce alla stabilità e alla resilienza dell'ecosistema (Commissione europea, 2010).

Filtrazione e purificazione dell'acqua: I suoli sono essenziali per il filtraggio e la depurazione dell'acqua, contribuendo a mantenerne la qualità. Inoltre, regolano il flusso dell'acqua, riducendo il rischio di inondazioni grazie all'assorbimento e al lento rilascio dell'acqua (FAO, 2015c).

Le sfide globali, come la crescita della popolazione, l'urbanizzazione, i cambiamenti nell'uso del suolo, l'espansione economica e i conflitti, mettono a dura prova le risorse del suolo. Questi fattori contribuiscono al degrado del suolo attraverso l'erosione, la perdita di carbonio organico (SOC), la contaminazione e l'aumento della salinità e dell'acidità del suolo. Tale degrado interessa circa il 20-40% della superficie terrestre totale del mondo, colpendo terreni coltivati, zone aride, zone umide, foreste e pascoli, e potenzialmente interessando quasi la metà della popolazione mondiale (FAO e ITPS, 2015; FAO, 2021; UNCCD, 2022b). Un recente studio di Pravalie et al. (2021) evidenzia che l'Asia

3. Servizi di supporto: Questi servizi sono necessari per la produzione di tutti gli altri servizi ecosistemici. Comprendono la formazione del suolo, il ciclo dei nutrienti e la produzione primaria.

4. Servizi culturali: Includono i benefici non materiali che le persone ottengono dagli ecosistemi attraverso l'arricchimento spirituale, lo sviluppo cognitivo, la riflessione, la ricreazione e le esperienze estetiche.

è in testa al declino del SOC, con il 33,5% delle riduzioni globali. Segue il Sud America con una diminuzione del 22,9%, che rappresenta cumulativamente oltre il 55% del calo globale. Anche l'Europa, l'America settentrionale e centrale e l'Africa hanno registrato diminuzioni significative, rispettivamente del 16,9%, del 13,6% e dell'11,9%, mentre l'Australia e l'Oceania hanno mantenuto un equilibrio di SOC neutro.

Il degrado del suolo comporta rischi economici e finanziari significativi, in particolare a causa della diminuita capacità del suolo di trattenere acqua e nutrienti, che può influire negativamente sulla produzione agricola e sulle attività economiche (FAO e ITPS, 2015; UNCCD, 2022a). Al contrario, la capacità del suolo di sequestrare il carbonio offre notevoli opportunità di ridurre le emissioni globali di gas serra. In risposta a ciò, la Strategia europea per il suolo 2030 ha definito iniziative per aumentare il contenuto di SOC nei terreni agricoli, puntando alla neutralità climatica dei terreni nell'UE entro il 2035 e contribuendo a un'Europa neutrale dal punto di vista climatico entro il 2050 (Maes et al., 2020; Paul et al., 2023). Questa strategia è sostenuta dal Quadro di certificazione dell'UE per l'eliminazione del carbonio, che mira a certificare le attività di eliminazione del carbonio all'interno dell'UE. Queste attività, tra cui le pratiche di carbon farming come l'agricoltura senza lavorazione del terreno, le colture di copertura e l'uso del sovescio, migliorano la capacità del suolo di immagazzinare materia organica e carbonio, allineandosi così agli obiettivi climatici più ampi.

3 I costi sociali della perdita di carbonio organico nel suolo (SOC)

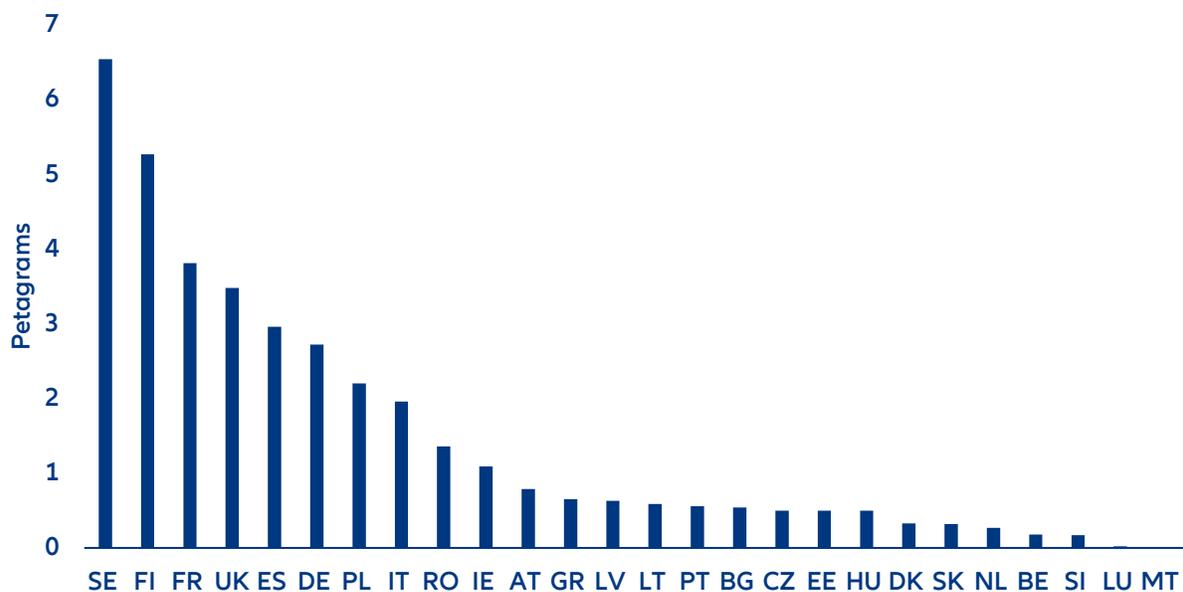
Questo studio riassume i risultati sui costi sociali della perdita di SOC su scala globale attraverso i canali di sequestro del carbonio, sfruttando le stime esistenti del costo sociale del carbonio e la letteratura sulle capacità di sequestro del carbonio. Successivamente, lo studio identifica le misure per ripristinare la qualità del suolo e stima i costi di queste misure di abbattimento, confrontandoli con i benefici monetizzati derivanti dai canali di sequestro del carbonio. In effetti, i costi sociali più ampi della perdita di qualità del suolo diventano più pronunciati se si considerano tutti i servizi ecosistemici supportati dal suolo, come la protezione dal rischio di alluvioni e altre minacce alla qualità dello stesso. Questo studio rappresenta quindi un primo passo in questo percorso esplorativo.

Per stimare il costo sociale della perdita di SOC associata all'aumento delle emissioni di gas serra, lo studio impiega scenari ipotetici basati sui livelli di stock di topsoil SOC, utilizzando i dati dei Paesi europei (Stati membri dell'UE, incluso il Regno Unito ma esclusi Croazia e Cipro) del 2013 (Yigini & Panagos, 2016), come illustrato nella Figura 2.⁴ Queste stime rappresentano gli stock totali di SOC dei vari tipi di terreno nello strato superiore del suolo (profondità 0-20 cm). Per questa analisi, gli stock di SOC di tutti i tipi di terreno sono considerati insieme, riconoscendo che le riduzioni del sequestro di carbonio si verificano non solo nei terreni agricoli, ma anche in quelli non agricoli, come le foreste e le zone umide, a causa del cambiamento climatico e dei cambiamenti di uso del suolo (Brillouin et al., 2023). La perdita annuale di SOC a livello globale è stimata in 58,6 tonnellate di C per chilometro quadrato all'anno (Pravalié et al., 2021).

⁴ Utilizziamo le stime del modello di base di Yigini e Panagos (2016) per il 2013, poiché non disponiamo di dati sugli stock di SOC per un anno successivo, come per il 2018..

Dal punto di vista delle opportunità, le stime evidenziano anche i benefici sociali associati al miglioramento dei livelli di SOC, riducendo così le emissioni di carbonio. Attuare la tariffazione del carbonio attraverso le compensazioni della biodiversità⁵ potrebbe svolgere un ruolo cruciale nel finanziamento di attività volte a migliorare la qualità del suolo. La tariffazione del carbonio affronta direttamente il rischio di transizione rendendo espliciti i costi ambientali dell'inquinamento nei bilanci delle aziende che inquinano, mettendo così in discussione i modelli di business che si basano sullo sfruttamento della società e sul degrado ambientale. Sebbene i rischi di transizione associati alla tariffazione del carbonio siano ben noti nel contesto del cambiamento climatico, il termine "opportunità di transizione" potrebbe essere più adatto quando si parla di miglioramento della biodiversità. Questo perché i meccanismi finanziari come le compensazioni della biodiversità generano flussi di reddito aggiuntivi che sostengono modelli di business positivi per l'ambiente.

Figura 1: Livelli assoluti di stock di SOC nei paesi europei, 2013



Fonte: Yigini e Panagos (2016), Allianz Research. Note BE Belgio, BG: Bulgaria, CZ: Cechia, DK: Danimarca, DE: Germania, EE: Estonia, IE: Irlanda, EL: Grecia, ES: Spagna, FR: Francia, HR: Croazia, IT: Italia, CY: Cipro LV: Lettonia, LT: Lituania, LU: Lussemburgo, HU: Ungheria, MT: Malta, NL: Paesi Bassi, AT: Austria, PL: Polonia, PT: Portogallo, RO: Romania, SI: Slovenia, SK: Slovacchia, FI: Finlandia, SE: Svezia

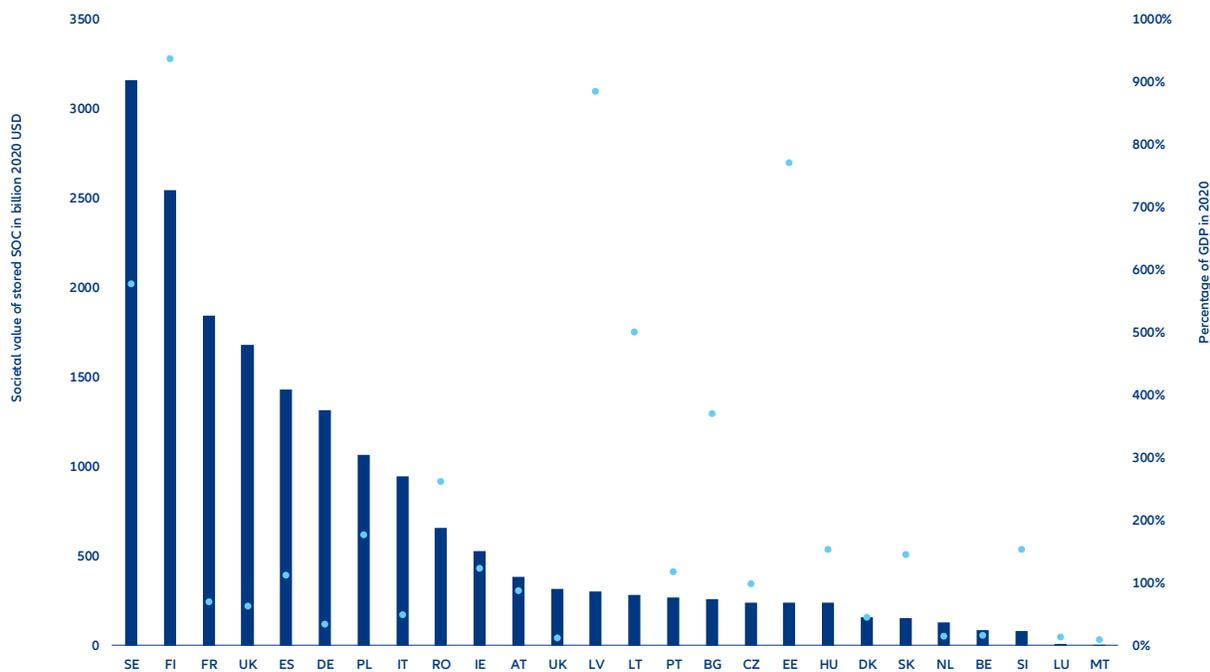
Per accertare il valore socioeconomico della perdita di SOC, utilizziamo le stime conservative del progetto COACCH (2021), che pone il costo sociale globale del carbonio a 132 dollari per tonnellata di CO₂ equivalente. Questo costo sociale del carbonio è pari al valore totale dei danni climatici che causerà una tonnellata aggiuntiva di CO₂ dal 2020 al 2120. Questa cifra rappresenta i danni medi causati da una tonnellata aggiuntiva di emissioni di CO₂, come quelli derivanti da eventi meteorologici estremi. In genere, questi costi non sono sostenuti da chi emette in assenza di una tariffazione del carbonio, né le attività basate sulla natura che sequestrano il carbonio ricevono

⁵ Sebbene le compensazioni della biodiversità possano essere immaginate per varie questioni legate alla biodiversità, attualmente sono prevalentemente associate alle compensazioni di carbonio basate sulla natura. Queste ultime spesso forniscono ulteriori co-benefici ambientali, sociali o economici.

benefici corrispondenti senza compensazioni della biodiversità. Calcoliamo il valore monetizzato della perdita di SOC moltiplicando il costo sociale del carbonio per gli stock di SOC persi per ogni scenario, assumendo un tasso di conversione diretto in cui una tonnellata di SOC equivale a 3,664⁶ tonnellate di CO2 equivalente. Questo calcolo presuppone che tutto il carbonio non sequestrato venga rilasciato nell'atmosfera.

I Paesi dell'UE detengono 37,94 petagrammi di SOC nello strato superiore (0-20 cm di profondità) del suolo (Yigini & Panagos, 2016), che si traducono in 139 petagrammi ($37,94Pg \cdot 3,664$) di CO2, circa tre anni e mezzo di emissioni attuali di CO2, circa il 50% del budget di CO2 rimanente per rimanere entro 1,5°C di riscaldamento globale o un valore socioeconomico di circa 18,3trn di dollari attraverso il canale delle emissioni di gas serra. Questo valore rappresenta circa il 18% del PIL mondiale e 1,1 volte quello europeo.⁷ A livello nazionale, il valore socioeconomico dello stock di SOC varia da circa 26 miliardi di dollari a Malta a 3,2 miliardi di dollari in Svezia.

Figura 2: Valore socioeconomico dello stock di SOC in Europa per paesi a prezzi USD 2020



Fonte: Pamuk et al. (2024), Allianz Research. Note alla figura: BE: Belgio, BG: Bulgaria, CZ: Cechia, DK: Danimarca, DE: Germania, EE: Estonia, IE: Irlanda, EL: Grecia, ES: Spagna, FR: Francia, HR: Croazia, IT: Italia, CY: Cipro, LV: Lettonia, LT: Lituania, LU: Lussemburgo, HU: Ungheria, MT: Malta, NL: Paesi Bassi, AT: Austria, PL: Polonia, PT: Portogallo, RO: Romania, SI: Slovenia, SK: Slovacchia, FI: Finlandia, SE: Svezia. Le barre mostrano il livello medio di SOC per paese.

⁶ Il rapporto tra la massa molecolare di CO2 e la massa atomica di C è $44,1/12,011 = 3,664$

⁷ Si tratta di un valore piuttosto basso rispetto alle stime potenziali, poiché il costo sociale del carbonio aumenterà con l'aumento delle concentrazioni di CO2 nell'atmosfera. Mantenendo costante il costo sociale del carbonio per il calcolo, non si tiene conto della traiettoria di emissioni che stiamo percorrendo, alla quale contribuirebbero anche le emissioni derivanti dalla diminuzione dei livelli di SOC. Utilizziamo il costo sociale del carbonio stimato dallo studio COACCH per il 2020 come il 22% del PIL globale e 1,2 volte il PIL europeo, in base ai numeri del PIL per il 2020 o come 18% del PIL globale e 1,1 volte il PIL europeo, sulla base dei dati del PIL per il 2022.

4 Misure di riduzione per preservare la qualità del suolo

Questo studio esamina un totale di cinque misure di miglioramento del suolo - tre pratiche di gestione delle colture e due tecniche più ampie di ripristino del territorio - che possono migliorare la qualità del suolo. Le pratiche di gestione delle colture includono l'assenza di lavorazione del terreno, le colture di copertura e l'uso del sovescio, mentre le tecniche e le misure più ampie di ripristino del territorio includono l'agroforestazione e la gestione sostenibile delle foreste⁸. Tutte queste misure contribuiscono a prevenire l'erosione del suolo, ad aumentare il sequestro di carbonio e a migliorare la biodiversità (Henry et al., 2022; Dias Rodriguez et al., 2023).

Tab. 1: Parametri chiave per l'analisi costi-benefici dei paesi per le misure di riduzione della perdita di qualità del suolo⁹.

Misura	Paese su cui si basa la stima	Costo indicativo (USD, 2023) per ettaro anno, Cp©	Misura dell'area potenziale applicabile, ettaro, ARc (1000 ha)	Variazione del tasso di adozione previsto tra il 2023-2035 (%)	Aumento annuo ipotizzato del tasso di adozione tra il 2023-2035, ΔADp
Coltura di copertura	DE	178	11862	45	3,8
	NL	178	1042	45	3,8
	IT	178	9260	45	3,8
	FR	178	18971	45	3,8
	UK	178	6024	45	3,8
	ES	178	16610	45	3,8
Agricoltura no-till, praticata semplicemente tramite una macchina che realizza i fori di semina nel terreno	DE	60	11862	30	2,5
	NL	60	1042	30	2,5
	IT	60	9260	30	2,5
	FR	60	18971	30	2,5
	UK	60	6024	30	2,5
	ES	60	16610	30	2,5
Concimi verdi	DE	209	11862	25	2,1
	NL	209	1042	25	2,1
	IT	209	9260	25	2,1
	FR	209	18971	25	2,1
	UK	209	6024	25	2,1
	ES	209	16610	25	2,1
Agroforestazione	DE	436	23281	10	0,8
	NL	444	1412	10	0,8
	IT	404	18880	10	0,8
	FR	420	36307	10	0,8
	UK	419	9222	10	0,8
	ES	405	35186	10	0,8
Gestione forestale	DE	94	11419	40	3,3
	NL	95	370	40	3,3
	IT	87	9620	40	3,3
	FR	90	17336	40	3,3
	UK	90	3199	40	3,3
	ES	87	18576	40	3,3

Fonte: Pamuk et al. (2024), Allianz Research. Note alla tabella: Le fonti dei costi indicativi sono le seguenti: cover cropping, Smit et al., 2019; no-tillage, De Wolf et al. (2019); sovesci, KWIN AGV (2018); Agroforestry and forest management (Verhoeven et al., 2023). Le stime possono includere i costi della riduzione della resa e gli investimenti necessari per implementare il metodo (ad esempio, macchinari e manodopera). Nel caso della gestione agroforestale e forestale, i costi indicativi

⁸ Nella gestione forestale, si considera solo il beneficio della prevenzione degli incendi selvatici attraverso incendi prescritti una volta nella vita (100 anni), mentre nella nostra analisi consideriamo il costo di tutte le altre pratiche che rientrano nella gestione forestale sostenibile. Queste altre pratiche possono avere anche altri effetti sui livelli di carbonio organico del suolo.

⁹ Questi costi indicativi sono stati adeguati all'inflazione utilizzando il tasso di crescita dei deflatori del PIL per il primo trimestre del 2021-2023 per il trattamento senza lavorazione del terreno e i sovesci, e per il primo trimestre del 2019-2023 per le colture di copertura. Fonte: Banca Centrale Europea MNA.Q.Q: Banca centrale europea MNA.Q.N.I9.W2.S1.S1.B.B1GQ._Z._Z._Z.IX.D.N | Portale dati della BCE (europa.eu)

includono l'investimento iniziale e una stima per un periodo di mantenimento di sette anni. Per la gestione agroforestale e forestale, abbiamo diviso il costo per sette per ottenere un costo annuale di implementazione.

L'analisi costi-benefici per ogni misura e paese è riassunta nella Tabella 1, mentre nell'Appendice 1 sono riportate la metodologia dettagliata e le ipotesi per la stima dei costi. La ricerca indica che l'attuazione di queste misure può aumentare in modo significativo le scorte di SOC: la coltura di copertura senza lavorazione del terreno del 37,4% in 11 anni, il sovescio del 34% in cinque anni e la gestione forestale del 21% (Tabella 2). Tuttavia, la combinazione di misure come il no-tillage e la cover cropping può portare a interazioni complesse, come l'aumento dell'attività microbica che, pur migliorando la qualità complessiva del suolo, può anche aumentare la respirazione del suolo e quindi le emissioni di CO₂, potenzialmente annullando alcuni benefici dello stoccaggio del carbonio.

Tabella 2: Aumenti di SOC segnalati per ciascuna misura

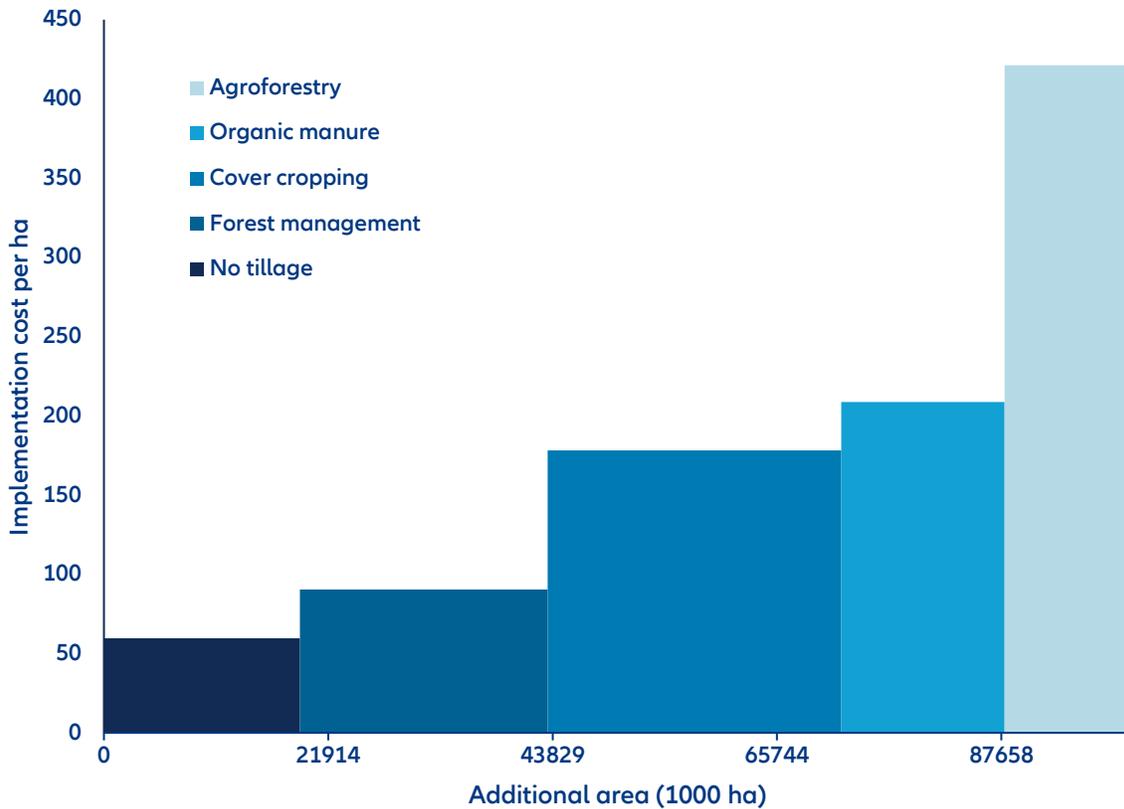
Misura	Variazione % in SOC rispetto ai gruppi di controllo o al basale	In how many years has the change been observed?	Perdita di SOC evitata (%)	Fonte
Coltura di copertura	7,7	5	n.a.	(Joshi et al., 2022)
Senza lavorazione del terreno	37,4	11	n.a.	(Wang et al., 2020)
Concime verde	34	5	n.a.	(Gross & Glasser, 2021)
Agroforestale	17,8	10	n.a.	(Chatterjee et al., 2018)
Gestione forestale	n.a.	n.a.	21	(Nave et al., 2011)

Fonte: Pamuk et al. (2024), Allianz Research. Nota: a causa della disponibilità, in alcuni casi sono offerti per lo strato superiore del suolo di 0-20 cm e in altri per lo strato di 0-30 cm o 0-40 cm. ** Anche la durata degli studi originali varia, per cui si utilizza la variazione percentuale media per anno per presentare i dati in modo uniforme. N.d.: non applicabile. Per quanto riguarda le pratiche di gestione forestale, si ipotizza che queste eliminino un incendio selvaggio una volta nella vita grazie agli incendi prescritti.

I costi aggregati di attuazione per sei Paesi sono presentati nella Figura 3. Le misure variano significativamente in termini di superficie che possono coprire, il che è direttamente influenzato dai loro costi di attuazione. In particolare, la figura illustra i costi di attuazione di queste misure di miglioramento della qualità del suolo a prezzi per ettaro nel 2023 per 1.000 ettari aggiuntivi in Germania, Paesi Bassi, Italia, Francia, Regno Unito e Spagna. Le aree calcolate per l'implementazione includono terreni coltivati per il no-tillage, le colture di copertura e il concime organico, e una combinazione di terreni coltivati e aree forestali per l'agroforestale; i costi di gestione forestale sono calcolati esclusivamente per le aree forestali in questi Paesi.

Se si considerano solo i costi di attuazione, l'assenza di lavorazione del terreno emerge come l'opzione più economica, con un costo inferiore a 100 dollari per ettaro, che consente di coprire la superficie più ampia. Al contrario, l'agroforestazione, la misura più costosa con oltre 400 dollari per ettaro, copre l'area più piccola. È importante notare che l'effettiva attuazione di queste misure è influenzata non solo dai costi, ma anche dalla volontà degli agricoltori e dei proprietari forestali di adottare nuove pratiche. Inoltre, la disponibilità di incentivi gioca un ruolo fondamentale nel facilitare la transizione verso queste pratiche sostenibili.

Figura 3: Curva di opportunità di abbattimento della perdita marginale di biodiversità per il miglioramento della qualità del suolo



Note alla figura: *sui terreni coltivati per il no-tillage, le colture di copertura e il concime organico; sui terreni coltivati e sull'area forestale per l'agroforestale; sull'area forestale per la gestione forestale sostenibile nei vari Paesi sono stati calcolati i costi di attuazione per ettaro per l'agroforestale e la gestione forestale. ***I costi sono espressi in milioni di dollari nel 2023.

Assumendo una relazione diretta tra il carbonio presente nel suolo e la sua emissione nell'atmosfera attraverso la respirazione del suolo, qualsiasi aumento degli stock di SOC previene di fatto emissioni di carbonio equivalenti. In particolare, calcoliamo i benefici socioeconomici creati tra il 2023 e il 2120 dalla superficie aggiuntiva che le misure possono potenzialmente coprire ogni anno nei Paesi selezionati, utilizzando la seguente formula:

$$B_{mc} = SOC_c \times L_{mc} \times I_m \times SCC$$

dove B_{mc} è il beneficio stimato per misura per paese, SOC_c è l'equivalente in CO2 dello stock iniziale di SOC per paese, L_{mc} è la frazione di terreno in cui la misura può essere attuata¹⁰, I_m è l'impatto stimato della misura¹¹ e SCC è il costo sociale del carbonio per il periodo 2023-2120 che determina il prezzo del carbonio.¹² Abbiamo anche incorporato il prezzo d'asta del carbonio del mercato EU-ETS di USD87 al 29 dicembre 2023 per un'ulteriore convalida.

I benefici di queste misure devono essere soppesati rispetto ai costi di attuazione nel periodo 2023-2120. La Tabella 3a riporta la scomposizione dei 32,7 miliardi di dollari di costi stimati per l'implementazione delle misure di abbattimento. In particolare, riportiamo i risultati per l'area aggiuntiva coperta da tali misure ogni anno (ad esempio, dal 2023 al 2024, si veda il tasso di adozione annuale nella colonna 6 della Tabella 1). I costi variano in modo significativo, da 13 milioni di dollari per la gestione forestale nei Paesi Bassi a 4,1 milioni di dollari per le colture di copertura in Francia. Queste variazioni sono dovute a fattori quali le dimensioni dei terreni disponibili, i tassi di adozione previsti e i costi di attuazione per ettaro dal 2023 al 2035.

Tabella 3a: Ripartizione del costo stimato di 32,7 miliardi di dollari per l'intero arco di vita dell'attuazione delle misure di abbattimento sull'area aggiuntiva coperta da tali misure ogni anno, in milioni di dollari (a prezzi 2023)

Misura	Francia	Germania	Italia	Paesi Bassi	Spagna	UK
Agroforestale	1404	934	702	58	1313	356
Coltura di copertura	4111	2571	2007	225	3600	1305
Gestione forestale	575	393	307	13	595	106
Nessuna lavorazione del terreno	918	574	448	50	803	291
Concime verde	2676	1673	1306	147	2343	850

Fonte: Pamuk et al. (2024), Allianz Research. Note alla tabella: La tabella mostra il costo totale attuale delle misure di abbattimento della perdita di qualità del suolo calcolato aggregando AC_{mc} fino al 2120 e ipotizzando che l'area aggiuntiva coperta dalla misura in Europa a partire dal 2023 rimanga coperta dalla stessa misura fino al 2120. AC_{mc} è l'investimento annuale richiesto per l'area aggiuntiva coperta da una misura in ciascun Paese (si vedano i dettagli nell'Appendice). Utilizziamo un fattore di sconto annuale del 3%, come nello studio COACCH..

Tabella 3b: Stima del sequestro di CO2 nel corso della vita da parte dell'area aggiuntiva coperta dalle misure di abbattimento ogni anno, megatonnellate (mt)

¹⁰ L_{mc} equivale all'area potenziale a cui può essere applicata una misura, l'ettaro, $[AR]_{c}$ diviso per la dimensione totale del terreno di un paese.

¹¹ Per calcolare I_m , moltiplichiamo la variazione annuale del tasso di utilizzo di una determinata misura (colonna 6 della Tabella 1) con l'aumento degli stock di SOC risultante dall'attuazione delle pratiche (colonna 2 della Tabella 2). Si ipotizza che le misure siano state applicate in modo continuativo tra il 2023 e il 2120 e che gli stock di SOC siano aumentati della variazione percentuale massima indicata nella colonna 2 della Tabella 2 durante questo periodo.

¹² L' SCC è stimato per un periodo di 100 anni. Pertanto, stimiamo il costo totale attuale dell'attuazione delle misure di abbattimento per quasi 100 anni continuativi. A tal fine, utilizziamo un fattore di preferenza temporale (sconto) del 3%, lo stesso utilizzato dallo studio COACCH per calcolare il valore dell' SCC . Inflazioniamo l' SCC ai prezzi del 2023 (a 148 dollari) utilizzando il deflatore del PIL in dollari, poiché le nostre stime dei costi sono in prezzi del 2023.

Misura	Francia	Germania	Italia	Paesi Bassi	Spagna	UK
Agroforestale	13,7	9,8	6,8	0,6	11,3	7,2
Coltura di copertura	14,0	9,8	6,5	0,9	10,4	9,2
Gestione forestale	30,9	22,8	16,4	0,8	28,2	11,8
Nessuna lavorazione del terreno	45,2	31,6	21,0	2,9	33,7	29,7
Concime verde	34,3	24,0	15,9	2,2	25,5	22,5

Note alla tabella: La tabella mostra le megatonnellate di CO2 (megatonness sequestrata dalle misure di abbattimento, stimata utilizzando SOC_c xL_mc xI_m.

Tabella 3c: Benefici economici stimati nel corso della vita tra il 2023 e il 120 dell'area aggiuntiva coperta dalle misure di abbattimento ogni anno, milioni di dollari, prezzi 2023

Misura	Francia	Germania	Italia	Paesi Bassi	Spagna	UK
Agroforestale	2026,4	1453,8	1003,7	90,9	1671,7	1064,1
Coltura di copertura	2066,8	1445,9	961,0	130,8	1540,4	1356,7
Gestione forestale	4579,0	3374,4	2420,3	112,8	4176,7	1746,5
Nessuna lavorazione del terreno	6692,7	4682,1	3111,9	423,7	4988,2	4393,1
Concime verde	5070,3	3547,1	2357,5	321,0	3779,0	3328,1

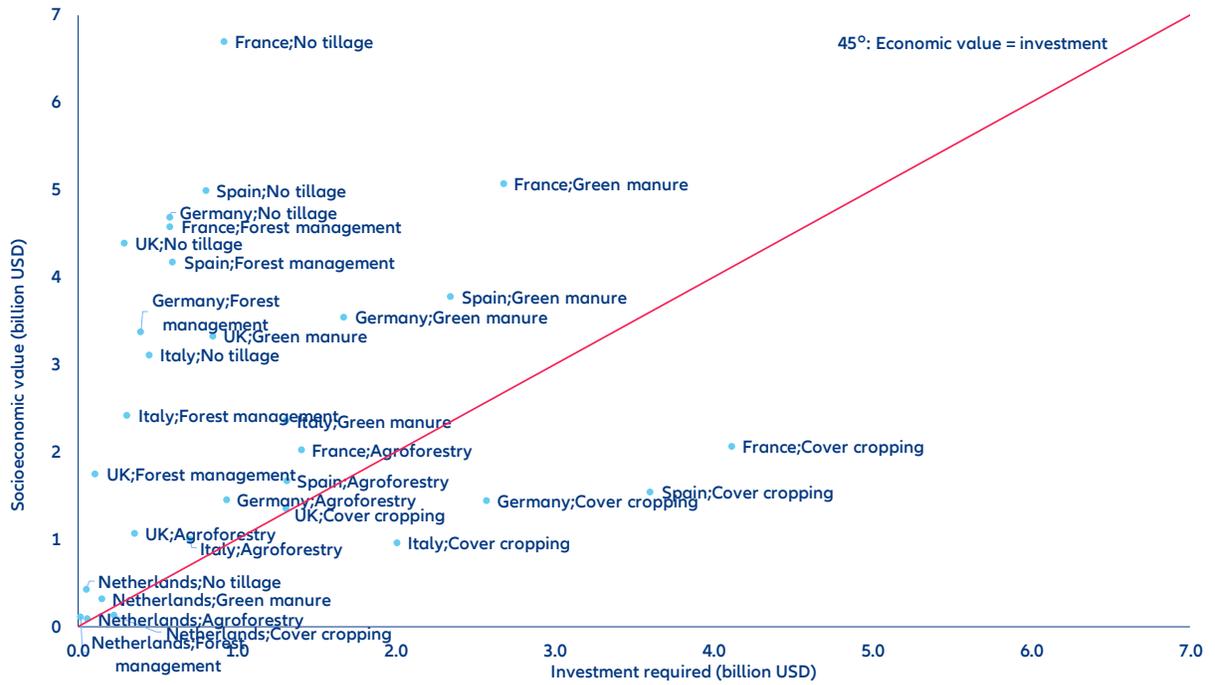
Note alla tabella: La tabella mostra il valore attuale dei benefici economici delle misure di abbattimento per l'area aggiuntiva che coprono in Germania, Paesi Bassi, Regno Unito, Italia, Francia e Spagna ogni anno, utilizzando la seguente formulazione.

La nostra analisi rivela che alcune misure di gestione delle colture e di ripristino del territorio, ad eccezione delle colture di copertura, sono economicamente convenienti grazie al loro potenziale di sequestro del carbonio, come mostrato nella Figura 4. Le pratiche sul lato sinistro della linea verde rappresentano opzioni "senza rimpianti", in cui i costi di attuazione sono inferiori al valore economico delle emissioni di gas serra sequestrate, senza tener conto di ulteriori co-benefici. In particolare, la gestione forestale e l'assenza di lavorazione del terreno mostrano valori socioeconomici elevati rispetto ai loro costi. L'agroforestazione mostra un equilibrio tra i costi di attuazione e il valore socioeconomico generato, mentre gli investimenti richiesti per le colture di copertura sono superiori ai benefici economici derivanti dal sequestro del carbonio.

Quando si sostituisce l'SCC con prezzi EU-ETS più bassi¹³ (Figura 5), l'analisi sostiene ancora la fattibilità economica di queste misure, ad eccezione dell'agroforestazione. Questo risultato sottolinea il potenziale di queste pratiche per essere commercializzate come compensazioni di carbonio, dimostrando il ruolo cruciale del suolo nel sequestro del carbonio e presentando un'opportunità di transizione per il settore finanziario.

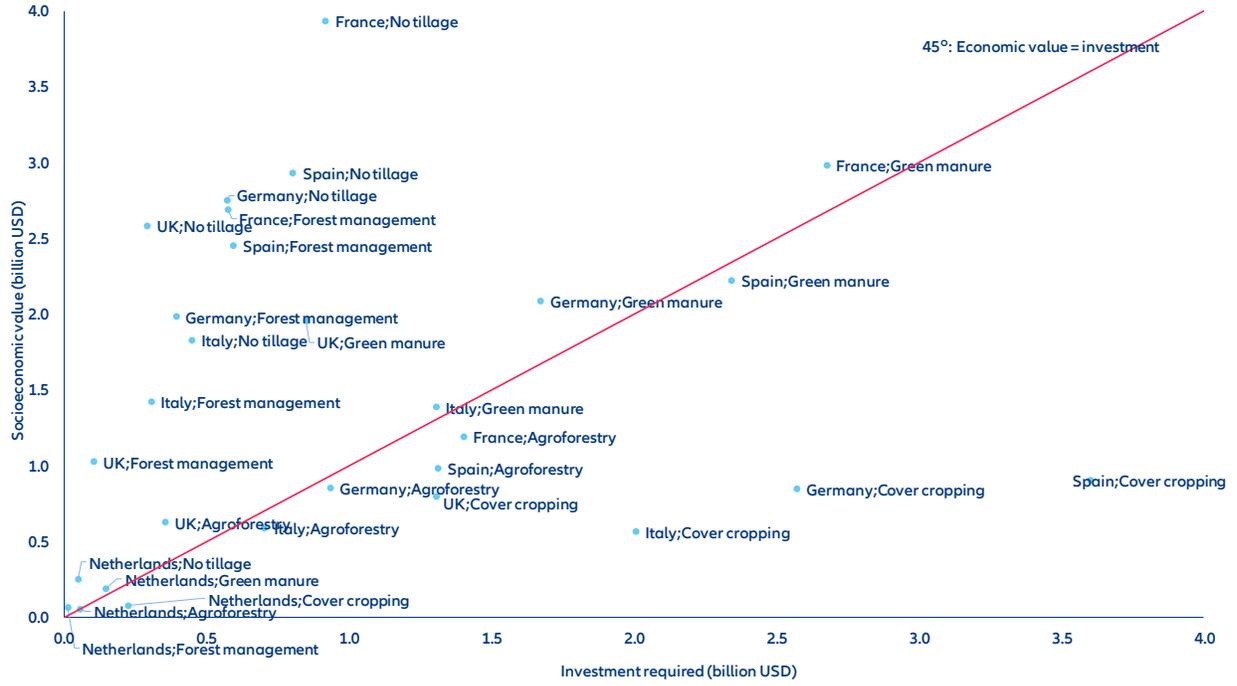
¹³ Prezzi d'asta del carbonio del mercato EU-ETS dal 29 dicembre 2023.

Figura 4: Confronto tra l'investimento richiesto e il valore socioeconomico della qualità del suolo derivante dalle emissioni di gas serra sequestrate utilizzando la stima del costo sociale del carbonio



Fonte: Pamuk et al. (2024), Allianz Research. Nota alla figura. I numeri del valore economico sociale sono tratti dalla Tabella 3c e i valori degli investimenti necessari dalla Tabella 3a..

Figura 5: Confronto tra gli investimenti necessari e il valore socioeconomico della qualità del suolo derivante dalle emissioni di gas serra sequestrate utilizzando i prezzi dell'EU-ETS alla fine del 2023



Fonte: Pamuk et al. (2024), Allianz Research

Appendice 1: Calcolo del costo delle misure di abbattimento

Per il calcolo si utilizza la seguente formulazione:

$$AC_{mc} = C_{m(c)} \times AR_c \times \Delta AD_m$$

m indica la misura e c il Paese. AC_{mc} è l'investimento annuale richiesto per l'area aggiuntiva coperta da una misura in ciascun Paese ogni anno. $C_{m(c)}$ è il costo indicativo di implementazione della pratica per ettaro all'anno (colonna 3 della Tabella 1). AR_c è l'area totale (in ettari) di terreno su cui la misura può essere potenzialmente applicata in un Paese (colonna 4 della Tabella 1) e ΔAD_m è la variazione annuale prevista del tasso di utilizzo di ciascuna misura nel corso del periodo 2023-2035 (colonna 6 della Tabella 1). Quindi $AR_c \times \Delta AD_m$ mostra l'area aggiuntiva coperta da una misura in ciascun Paese ogni anno.

Confrontiamo B_{mc} con il valore attuale dell'investimento totale richiesto per utilizzare continuamente le misure fino al 2120 dopo averle adottate una volta. A tal fine, stimiamo il valore attuale di AC_{mc} per ogni anno (ad esempio, 2023, 2024, 2025,...) fino al 2120 e lo aggregiamo utilizzando un fattore di sconto annuale del 3%. Questo fattore di sconto è lo stesso utilizzato dallo studio COACHH. La stima del costo sociale del carbonio che utilizziamo dallo studio COACHH considera anche il valore economico totale del sequestro di carbonio generato tra il 2023 e il 2120.

Per il no-tillage e l'uso di sovesci, le stime di AR_c e ΔAD_m sono tratte da Pamuk et al., 2023. Per le colture di copertura, abbiamo seguito la letteratura che suggerisce che ΔAD_p e AR_c per le colture di copertura dovrebbero essere simili ai tassi di adozione delle misure di biocontrollo (Smit et al., 2021). Abbiamo quindi ipotizzato che i tassi di adozione previsti per le misure di biocontrollo da Pamuk et al. (2023) dovrebbero essere gli stessi anche per le colture di copertura e abbiamo utilizzato queste stime.

Per quanto riguarda la gestione forestale sostenibile, la strategia forestale dell'UE afferma che il 60% delle foreste è attualmente in gestione e sottolinea che il 100% delle foreste dovrebbe essere in gestione entro il 2030 (Commissione europea, 2021). In base a ciò, ipotizziamo che la superficie forestale sottoposta a gestione sostenibile possa aumentare di 40 punti percentuali rispetto al 2023. Per quanto riguarda l'agroforestale, abbiamo stimato la variazione della superficie coltivata e forestale coperta dall'agroforestale dal 2023 al 2035 (ΔAD_p), utilizzando le tendenze esistenti evidenziate in letteratura. Rubio-Delgado et al. (2023) hanno utilizzato i dati del suolo LUCAS per il periodo 2009-2018 e hanno riportato che l'adozione di diverse pratiche agroforestali ha tendenze diverse: sono aumentate e diminuite in diversi sottoperiodi dell'arco temporale coperto dallo studio. In questo caso, abbiamo scelto lo scenario migliore: gli orti, un sistema agroforestale che ha registrato un aumento netto del 7% in 10 anni e in tutti i Paesi. Consideriamo questo numero alla luce delle recenti politiche dell'UE, come la PAC o l'agricoltura del carbonio dell'UE, che motivano sempre più l'implementazione dei sistemi agroforestali e ipotizziamo che l'adozione dell'agroforestale aumenterà del 10% nel periodo 2023-2035 in un periodo di 13 anni. L'area per l'implementazione dell'agroforestazione (AR_c) include sia le aree coltivate che quelle forestali per ogni Paese, poiché alcuni sistemi agroforestali possono essere implementati sia in contesti agricoli che per ripristinare foreste degradate. Per la gestione sostenibile delle foreste, si utilizza un'area che copre i terreni forestali per Paese (AR_c) come area potenziale per l'attuazione di questa misura.

I costi indicativi C_{p(c)} per le misure di gestione delle colture si basano su uno studio che raccoglie i costi di un solo Paese, i Paesi Bassi (Smit et al., 2019; Smit et al., 2021). I costi per il ripristino dei terreni sono stime del modello di Verhoeven et al. (2023) e sono specifici per ogni Paese.

Appendice 2: Riferimenti

Beillouin, D., Corbeels, M., Demenois, J., Berre, D., Boyer, A., Fallot, A., ... & Cardinael, R. (2023). A global meta-analysis of soil organic carbon in the Anthropocene. *Nature Communications*, 14(1), 3700.

Berhe, A.A. et al. (2018). 'Role of Soil Erosion in Biogeochemical Cycling of Essential Elements: Carbon, Nitrogen, and Phosphorus', <https://doi.org/10.1146/annurev-earth-082517-010018>, 46, pp. 521–548. Available at: <https://doi.org/10.1146/ANNUREV-EARTH-082517-010018>.

Berryman, E. et al. (2020). 'Soil Carbon', *Forest and Rangeland Soils of the United States under Changing Conditions: A Comprehensive Science Synthesis*, pp. 9–31. Available at: https://doi.org/10.1007/978-3-030-45216-2_2/TABLES/2.

Borrelli, P. et al. (2020). 'Land use and climate change impacts on global soil erosion by water (2015-2070)', *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 117(36), pp. 21994–22001. Available at: <https://doi.org/10.1073/pnas.2001403117>.

Bronick, C.J. and Lal, R. (2005) 'Soil structure and management: a review', *Geoderma*, 124(1–2), pp. 3–22. Available at: <https://doi.org/10.1016/J.GEODERMA.2004.03.005>.

Bünemann, E.K. et al. (2016) *Report number: 04 Deliverable: D3.1 Report type: Report Concepts and indicators of soil quality-a review*. Available at: www.isqaper-project.eu.

Carter, M.R. et al. (1997) 'Chapter 1: Concepts of soil quality and their significance', *Developments in Soil Science*, 25, pp. 1–19.

Doetterl, S. et al. (2016) 'Erosion, deposition and soil carbon: A review of process-level controls, experimental tools and models to address C cycling in dynamic landscapes', *Earth-Science Reviews*, 154, pp. 102–122. Available at: <https://doi.org/10.1016/J.EARSCIREV.2015.12.005>.

ENCORE (2023) *Exploring Natural Capital Opportunities, Risks and Exposure, Exploring Natural Capital Opportunities, Risks and Exposure*.

European Commission (2010) *The factory of life. Why soil biodiversity is so important, Directorate-General Environment*. Available at: <https://doi.org/10.2307/j.ctt1zxsjv1.7>.

FAO (2015a) *Healthy soils are the basis for healthy food production, FAO in Action*. Rome. Available at: <http://www.fao.org/3/a-i4405e.pdf>.

FAO (2015b) *Soils help to combat and adapt to climate change, FAO in Action*. Rome. Available at: <http://www.fao.org/3/a-bb018e.pdf>.

FAO (2015c) *Soils store and filter water*. Rome.

FAO (2021) *The State of the world's Land and Water Resources for Food and Agriculture – Systems at breaking point. Synthesis report 2021, The State of the World's Land and Water Resources for Food and Agriculture – Systems at breaking point (SOLAW 2021)*. Rome: FAO. Available at: <https://doi.org/10.4060/cb7654en>.

FAO (2022) *Soils for nutrition: state of the art, Food and Agriculture Organization of the United Nations*. Rome. Available at: <https://doi.org/10.4060/cc0900en>.

FAO and ITPS (2015) *Status of the World's Soil Resources (SWSR) – Main Report*.

Fernandes Ugalde, O. et al. (2022) *LUCAS 2018 Soil module*. Luxembourg: Publications Office of the European Union. Available at: <https://doi.org/10.2760/215013>.

Ji, L., Xin, Y., & Guo, D. (2023). Soil Fungal Community Structure and Its Effect on CO₂ Emissions in the Yellow River Delta. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 20(5), 4190.

Kirkels, F.M.S.A., Cammeraat, L.H. and Kuhn, N.J. (2014) 'The fate of soil organic carbon upon erosion, transport and deposition in agricultural landscapes — A review of different concepts', *Geomorphology*, 226, pp. 94–105. Available at: <https://doi.org/10.1016/J.GEOMORPH.2014.07.023>.

Li, T. *et al.* (2019) 'Soil erosion affects variations of soil organic carbon and soil respiration along a slope in Northeast China', *Ecological Processes*, 8(1), pp. 1–10. Available at: <https://doi.org/10.1186/S13717-019-0184-6/FIGURES/6>.

Lin, H. *et al.* (2022) 'Simulating the effects of erosion on organic carbon dynamics in agricultural soils', *Catena*, 208(September 2021), p. 105753. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.catena.2021.105753>.

Ma, Y. *et al.* (2023) 'Global crop production increase by soil organic carbon', *Nature Geoscience*, 16(12), pp. 1159–1165. Available at: <https://doi.org/10.1038/s41561-023-01302-3>.

Maes, J. *et al.* (2020) *Mapping and Assessment of Ecosystems and their Services: An EU ecosystem assessment*. EUR 30161 EN, Publications Office of the European Union, Ispra, 2020, ISBN. Available at: <https://doi.org/10.2760/757183>.

Muñoz-Rojas, M., Pereira, P. and Martínez-Murillo, J.F. (2018) 'Soil quality indicators: critical tools in ecosystem restoration This review comes from a themed issue on Sustainable soil management and land restoration'. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.coesh.2018.04.007>.

Nortcliff, S. (2002) 'Standardisation of soil quality attributes', *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 88(2), pp. 161–168. Available at: [https://doi.org/10.1016/S0167-8809\(01\)00253-5](https://doi.org/10.1016/S0167-8809(01)00253-5).

Nunes, F.C. *et al.* (2020) 'Soil as a complex ecological system for meeting food and nutritional security,' *Climate Change and Soil Interactions*, pp. 229–269. Available at: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-818032-7.00009-6>.

Oldfield, E. E., Bradford, M. A., & Wood, S. A. (2019). Global meta-analysis of the relationship between soil organic matter and crop yields. *Soil*, 5(1), 15–32.

Pamuk, H., Arredondo Rivera, M., Nannes, J., van Zeist, W.-J., & Polman, N. (2023). *Bending the curve for biodiversity loss and economy: case study evidence from pollination services loss*. (Report / Wageningen Economic Research; No. 2023-081). Wageningen Economic Research. <https://doi.org/10.18174/634599>

Pamuk, H., Arredondo Rivera, M., Nannes, J., van Zeist, W.-J., Naranjo Barrantes, M., & Polman, N. (2023). (2024) *A step to estimate the value of ecosystem services provided by soil: Case study evidence from soil quality (forthcoming as WUR publication)*

Panagos, P. *et al.* (2018) 'Cost of agricultural productivity loss due to soil erosion in the European Union: From direct cost evaluation approaches to the use of macroeconomic models', *Land Degradation and Development*, 29(3), pp. 471–484. Available at: <https://doi.org/10.1002/ldr.2879>.

Paul, C. *et al.* (2023) 'Carbon farming: Are soil carbon certificates a suitable tool for climate change mitigation?', *Journal of Environmental Management*, 330(December 2022). Available at: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.117142>.

Pravalié, R. *et al.* (2021) 'Global changes in soil organic carbon and implications for land degradation neutrality and climate stability', *Environmental Research*, 201, p. 111580. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.envres.2021.111580>.

Poepflau, C., & Dechow, R. (2023). The legacy of one hundred years of climate change for organic carbon stocks in global agricultural topsoils. *Scientific Reports*, 13(1), 7483.

Svartzman, R. *et al.* (2021) *A 'Silent Spring' for the Financial System? Exploring Biodiversity-Related Financial Risks in France, Banque de France*. Available at: <https://doi.org/10.2139/ssrn.4028442>.

UNCCD (2022a) *Second Edition Land Restoration for Recovery and Resilience*.

UNCCD (2022b) *Summary for Decision Makers. Global Land Outlook*. second edi. Bonn: United Nations Convention to Combat Desertification.

Wang, M., Guo, X., Zhang, S. et al. Global soil profiles indicate depth-dependent soil carbon losses under a warmer climate. *Nat Commun* 13, 5514 (2022). <https://doi.org/10.1038/s41467-022-33278-w>

Woltjer, G. and Kuiper, M. (2014) 'The MAGNET model: Module description', *Wageningen UR.*, p. 144. Available at: www.wageningenUR.nl/en/lei.

Wuepper, D., Borrelli, P. & Finger, R. Countries and the global rate of soil erosion. *Nat Sustain* 3, 51–55 (2020). <https://doi.org/10.1038/s41893-019-0438-4>

WWF (2023) *What is Erosion? Effects of Soil Erosion and Land Degradation*. Available at: <https://www.worldwildlife.org/threats/soil-erosion-and-degradation> (Accessed: 10 December 2023).

Yigini, Y. and Panagos, P. (2016) 'Assessment of soil organic carbon stocks under future climate and land cover changes in Europe', *Science of The Total Environment*, 557–558, pp. 838–850. Available at: <https://doi.org/10.1016/J.SCITOTENV.2016.03.085>.