SCIENZA · CRCF · CERTIFICAZIONE

VOL. 2

# IL SUOLO CHE VALE




## *Guida Tecnica Operativa al Carbon Farming*

**Il primo manuale operativo sul CRCF · aggiornato all'Atto Delegato UE del 9 luglio 2026**

**Scienza del suolo · Modellistica SOC · Digital MRV** · Atto Delegato CRCF · Economia, diritto e fiscalità · Casi studio

Mauro Lajo con Raffaele Mana · **Forever Bambù**

© 2026 Mauro Lajo, per il testo
© 2026 Forever Bambù S.p.A. Società Benefit, per la presente edizione
Tutti i diritti riservati.

Prima edizione: ottobre 2026 · ISBN 979-12-986734-7-2

Editore: Forever Bambù S.p.A. Società Benefit
Str. Padana Superiore 16/18, 20063 Cernusco sul Naviglio (MI) · P.IVA 12072470961

# Il Suolo Che Vale — Volume 2

## Guida Tecnica Operativa al Carbon Farming

*A cura di Mauro Lajo, con Dott. Raffaele Mana*

---

## Indice


- Note introduttive e dichiarazione di intenti
- Capitolo 1. Scienza del suolo avanzata: mineralogia, saturazione SOC, degradazione, tipi di suolo italiani
- Capitolo 2. Biologia e microbiologia del suolo
- Capitolo 3. Modellistica del carbonio organico: RothC, Century, DNDC a confronto
- Capitolo 4. Digital MRV: telerilevamento, satelliti, droni, intelligenza artificiale
- Capitolo 5. Standard internazionali in pratica: guida operativa VM0042 e allineamento CRCF/ICVCM/Art.6
- Capitolo 6. L'Atto Delegato CRCF sul Carbon Farming: guida operativa alla metodologia adottata
- Capitolo 7. Agroforestazione professionale: tipologie, specie, quantificazione, casi studio
- Capitolo 8. Biochar: produzione, proprietà, certificazione, filiera italiana
- Capitolo 9. Mitigazione $N_2O$ e $CH_4$: fertilizzanti, risaie, zootecnia
- Capitolo 10. Progettare l'economia di un progetto: dal caso singola azienda al PoA aggregato
- Capitolo 11. Zootecnia e Carbon Farming: quanta terra serve per compensare un allevamento

- Capitolo 12. Governance multi-azienda e progettazione PoA
- Capitolo 13. Diritto agricolo e contratti: titolarità del credito, clausole, rischi legali
- Capitolo 14. Fiscalità dei crediti di carbonio agricoli
- Capitolo 15. Marketing climatico e claim di filiera: cosa è lecito dire
- Capitolo 16. Prodotti legnosi e bambù di lunga durata: la quantificazione dettagliata
- Capitolo 17. Economia forestale: costi e ricavi degli interventi
- Capitolo 18. Casi studio internazionali e modelli di business
- Capitolo 19. Checklist e strumenti per il tecnico
- Capitolo 20. Glossario tecnico avanzato
- Capitolo 21. Riferimenti normativi e bibliografici aggiuntivi



NOTE INTRODUTTIVE

# Dichiarazione di intenti

*Dalla teoria alla pratica: il mestiere del Carbon Farming.*

Il Volume 1 di questa collana, “Il Suolo Che Vale”, è nato per rispondere a una domanda semplice: che cos’è il Carbon Farming e perché un’azienda agricola dovrebbe occuparsene oggi. Era, dichiaratamente, un testo di ingresso — rigoroso, ma pensato per chi si affaccia per la prima volta su normativa, standard e pratiche di questo settore.

Questo Volume 2 nasce da una domanda diversa, che emerge naturalmente una volta superata la prima: *come si progetta, si certifica e si vende, nella pratica, un progetto di Carbon Farming che funzioni davvero*. Non si rivolge più all’agricoltore che scopre il tema, ma a chi deve operarlo per mestiere — l’agronomo che deve scegliere un modello di stima del SOC, il consulente che deve strutturare un PoA multi-azienda, il tecnico che deve costruire un piano di campionamento difendibile davanti a un organismo di verifica, il commerciale che deve sapere cosa può e non può dichiarare in una comunicazione climatica, il legale o il commercialista che deve inquadrare correttamente un contratto di cessione di crediti.

Questo documento presuppone quindi la lettura del Volume 1, o quantomeno una familiarità equivalente con i suoi contenuti: definizione di Carbon Farming, quadro normativo di base (CRCF, PAC, Registro CREA), introduzione ai principali standard di certificazione, pratiche agronomiche di base, introduzione all’MRV, guida operativa in otto passi. Questi temi non vengono ripetuti qui, se non nella misura in cui servono da premessa a un approfondimento tecnico specifico. Dove il Volume 2 richiama un dato o una definizione già stabiliti nel Volume 1 — in particolare i parametri di sequestro del bambù gigante, §9.3 del Volume 1 — li riprende senza ricalcolarli, per evitare che due documenti della stessa collana finiscano per raccontare versioni numeriche diverse dello stesso fenomeno.

## A chi si rivolge

Ai tecnici e ai professionisti che devono trasformare il Carbon Farming da opportunità teorica a progetto operativo: agronomi e periti agrari che devono scegliere e applicare un modello di stima del carbonio organico del suolo; consulenti aziendali e project developer che devono strutturare l’economia di un progetto, dal singolo appezzamento al Programme of Activities aggregato; tecnici che devono progettare un

piano di monitoraggio conforme a uno standard internazionale; avvocati, commercialisti e responsabili amministrativi che devono inquadrare correttamente titolarità, contratti e fiscalità dei crediti generati; responsabili marketing e comunicazione di filiere agroalimentari che devono formulare claim climatici legittimi e verificabili.

## Metodo e limiti

Ogni capitolo di questo volume è ancorato a fonti tecniche specifiche — normative pubblicate, metodologie di standard internazionali riconosciuti, dati economici e tecnici raccolti nel percorso formativo interno di Forever Bambù "Carbon Farming — Dal Suolo al Mercato". Dove i dati provengono da stime, simulazioni o casi di studio costruiti a scopo didattico, questo viene segnalato esplicitamente nel testo: non sono sostituti di un'analisi di sito specifica, che resta sempre necessaria prima di impegnare qualunque azienda in un progetto reale.

Il quadro normativo del Carbon Farming — a livello europeo, italiano e degli standard volontari internazionali — è in evoluzione attiva. I riferimenti normativi citati in questo volume sono aggiornati a luglio 2026: in particolare, il 9 luglio 2026 la Commissione europea ha adottato il Regolamento Delegato C(2026) 4666, che stabilisce le metodologie di certificazione per le attività di Carbon Farming previste dal Regolamento CRCF (UE) 2024/3012 — un passaggio che questo volume recepisce e a cui dedica il Capitolo 6. Il registro europeo del carbonio resta invece in fase di sviluppo, con piena operatività attesa per il 2028. Chi utilizza questo testo per costruire un progetto reale deve sempre verificare lo stato più recente della normativa e delle metodologie applicabili. A questo si è aggiunto, il 17 luglio 2026, la proposta di revisione della Direttiva EU ETS (COM(2026) 616), che allinea il mercato europeo del carbonio al target −90% al 2040 e integra per la prima volta le rimozioni permanenti di $CO_2$: una novità che ridisegna il confine tra mercato regolato e mercato volontario, e che questo volume tiene in conto nel Capitolo 6.

Come per il Volume 1, questo documento non è espressione di alcun ente pubblico né di alcun sistema di certificazione, e non presenta un singolo standard come l'unica via percorribile: la scelta del sistema più

adatto — Registro CREA, VM0042, Label Bas-Carbone o altri — dipende sempre dal contesto specifico del progetto, ed è uno dei temi che questo volume tratta esplicitamente nei capitoli dedicati agli standard internazionali.

> **Attenzione** — Questo volume non è un manuale legale, fiscale o finanziario e non sostituisce la consulenza di un professionista abilitato. I capitoli su diritto agricolo, contratti e fiscalità (Capitoli 13 e 14) forniscono un inquadramento tecnico generale, non un parere applicabile a un caso specifico.

## Struttura del volume

Il volume è organizzato in blocchi tematici, pensati per essere consultati anche in modo non sequenziale a seconda del profilo del lettore: scienza e modellistica del suolo (Capitoli 1-4), standard internazionali, quadro CRCF e mitigazione avanzata (Capitoli 5-9), economia e governance di progetto (Capitoli 10-14), comunicazione, prodotti di lunga durata ed economia forestale (Capitoli 15-17), casi studio internazionali e strumenti operativi (Capitoli 18-19), chiusi da un glossario tecnico avanzato e da riferimenti bibliografici aggiuntivi (Capitoli 20-21).



CAPITOLO 1

# Scienza del suolo avanzata

Mineralogia, saturazione SOC, degradazione, tipi di suolo italiani

*Tutto comincia sotto i nostri piedi.*

Il carbon farming funziona solo se il carbonio che entra nel suolo — residui colturali ed essudati radicali — viene effettivamente stabilizzato. Questa stabilizzazione non è un fatto puramente biologico: dipende in primo luogo da mineralogia, tessitura e struttura del suolo, che la componente biologica "cuce" in aggregati stabili (il tema del Capitolo 2). Per un tecnico che deve valutare la fattibilità di un progetto SOC, il punto di partenza non è "quante pratiche posso applicare", ma "quanto suolo può effettivamente immagazzinare carbonio". Non tutti i suoli valgono allo stesso modo: alcuni hanno un potenziale ampio e ancora inespresso, altri sono prossimi alla saturazione o strutturalmente fragili, con un rischio concreto di reversal.

## 1.1 Struttura del suolo e stabilizzazione del carbonio

**Mineralogia delle argille.** Le argille determinano capacità di scambio cationico (CEC) e superficie specifica, i due driver principali della protezione fisico-chimica della sostanza organica del suolo (SOM). I tre gruppi mineralogici di riferimento hanno comportamenti molto diversi:

| Tipo di argilla | Struttura | CEC indicativa (cmol(+)/kg) |
|---|---|---|
| Caolinite | 1:1 | ≈ 3–15 |
| Illite | 2:1 | ≈ 20–40 |
| Smectiti (es. montmorillonite) | 2:1 espansiva | ≈ 80–150 |

Le argille 2:1 espansive trattengono più carbonio delle altre per tre ragioni concorrenti: offrono superfici enormi e spazi interlamellari in grado di ospitare composti organici; formano complessi organo-minerali più stabili nel tempo; mettono a disposizione un numero maggiore di siti di adsorbimento per SOM e metaboliti microbici.

> **Approfondimento tecnico** — L'implicazione operativa è diretta: un suolo con dotazione significativa di smectiti è un candidato mineralogicamente favorito per un progetto SOC di lungo periodo, a parità di altre condizioni. La mineralogia delle argille andrebbe quindi tra i primi dati da richiedere in

una due diligence pedologica, non trattata come un dettaglio accessorio da laboratorio.

**Interazioni minerali–SOM.** La sostanza organica si stabilizza attraverso tre meccanismi di protezione che agiscono insieme:

- protezione fisica — la SOM è intrappolata in micropori e aggregati che ne limitano l'accesso ai microrganismi decompositori;
- protezione chimica — legami elettrostatici e covalenti con le argille e con gli ossidi di ferro e alluminio;
- protezione biochimica — un tempo attribuita soprattutto alla recalcitranza intrinseca di composti come la lignina, oggi considerata un contributo secondario: la ricerca recente (Lehmann & Kleber, 2015; teoria MEMS di Cotrufo) attribuisce la persistenza del carbonio soprattutto all'associazione con i minerali e alla necromassa microbica, più che alla struttura chimica del residuo di partenza.

Questa distinzione tra pool labile e pool stabile è centrale per l'MRV: il pool labile — residui freschi, zuccheri, proteine, biomassa microbica — si mineralizza rapidamente e restituisce $CO_2$ in tempi brevi (ciclo veloce); il pool stabile — humificato, chemisorbito o fisicamente protetto negli aggregati — è quello che garantisce permanenza su scala di anni-decenni ed è l'unico rilevante ai fini della quantificazione dei crediti.

**Ruolo della tessitura.** I suoli sabbiosi hanno bassa capacità di protezione e un elevato turnover della SOM: servono input enormi di carbonio per ottenere incrementi anche modesti di SOC stabile. I suoli limoso-argillosi offrono alta protezione fisico-chimica e vanno considerati prioritari nella selezione dei progetti. A parità di input di carbonio, la curva di crescita del SOC in un suolo argilloso sale più in alto e per più tempo rispetto a un suolo sabbioso, che tende a "perdere" rapidamente il carbonio accumulato non appena cessa l'apporto.

## 1.2 Saturazione del suolo in carbonio

Ogni suolo possiede una capacità massima di carbonio stabilizzabile, funzione di quattro variabili: mineralogia (tipo e quantità di argille e ossidi), tessitura, profondità realmente "attiva" (gli orizzonti effettivamente lavorati e colonizzati dalle radici) e stato iniziale, cioè il deficit di saturazione ancora da colmare. Quando il carbon saturation deficit si riduce, ogni nuovo input di carbonio diventa progressivamente più ciclico — entra ed esce dal sistema con minore stoccaggio netto — fino a un plateau.

Le curve SOC seguono un pattern riconoscibile in funzione dello stato di partenza:

- suoli degradati (SOC basso): rispondono velocemente ai cambi di gestione, con una pendenza iniziale marcata;
- suoli intermedi: buona risposta iniziale, seguita da rallentamento progressivo;
- suoli quasi saturi: raggiungono un plateau in 20–30 anni, generando pochi crediti aggiuntivi; su questi suoli conviene spostare l'obiettivo verso i co-benefici (erosione, acqua, biodiversità) o verso CDR strutturale (imboschimento, biochar).

> **Per il tecnico** — In fase di screening, i target ideali per un progetto SOC sono suoli degradati o intermedi, con CEC medio-alta e rischio erosivo controllabile o controllabile con interventi contenuti. I suoli già ricchi in sostanza organica — prati stabili, boschi maturi — offrono rimozioni marginali modeste: su questi appezzamenti è più corretto orientare il cliente verso agroforestazione, biochar o progetti di insetting di filiera, piuttosto che vendere un progetto SOC che difficilmente genererà volumi significativi.

## 1.3 Degradazione e rischio: erosione, compattazione, salinità

**Erosione.** Si manifesta in forma superficiale (sheet), lineare (rigagnoli, calanchi) o di massa (frane). È a tutti gli effetti un reversal naturale:

ogni tonnellata di suolo asportata porta con sé carbonio organico, tipicamente nell'ordine di 10–20 kg di C per tonnellata di suolo in molti sistemi coltivati. Un piano anti-erosione — copertura vegetale permanente o stagionale, contour farming, fasce tampone, terrazzamenti e sistemazioni idrauliche — è un prerequisito di progetto, non un'opzione accessoria, ovunque il rischio erosivo sia significativo.

**Compattazione.** Riduce i macropori disponibili, con effetto a cascata su ossigenazione, sviluppo radicale e attività dei microrganismi "costruttori di aggregati". Le soglie indicative di attenzione sulla densità apparente sono:

| Tessitura | Soglia di attenzione (densità apparente) |
|---|---|
| Sabbie | > 1,70 g/cm$^3$ |
| Limi | > 1,55 g/cm$^3$ |
| Argille | > 1,45 g/cm$^3$ |

La diagnosi rapida in campo si basa su infiltrazione lenta, resistenza alla penetrazione elevata e radici che crescono "a uncino" invece di approfondirsi.

**Salinità e sodicità.** Una conducibilità elettrica dell'estratto (ECe) superiore a 4 dS/m produce stress osmotico, con riduzione di biomassa e attività microbica. Sul fronte sodico, valori di SAR superiori a 13 o di ESP superiori a 15 causano dispersione dei colloidi e collasso della struttura, e richiedono correzione con gesso, lisciviazione e gestione mirata dell'acqua. Il carbon farming in ambienti salini resta fattibile, ma solo con strategie dedicate — pacciamature, colture tolleranti, input organici stabilizzati — e non applicando protocolli standard pensati per suoli non salini.

> **Attenzione** — Erosione e compattazione sono reversal silenziosi: non producono un evento visibile e improvviso come un incendio o un dissodamento, ma erodono progressivamente lo stock di carbonio costruito, spesso senza che il monitoraggio documentale se ne accorga. Vanno trattati come rischio di progetto fin dalla fase di baseline, non gestiti solo a posteriori.

## 1.4 Tipi di suolo italiani e priorità di intervento

| Tipologia | Caratteristiche | Potenziale e criticità |
|---|---|---|
| Alluvionali padani | Profondi, spesso calcarei, tessiture limoso-argillose | Alto potenziale SOC, buona risposta a cover crop/inerbimenti e min-till/no-till; criticità: compattazione da meccanizzazione, ristagni locali → curare drenaggi e calpestamento |
| Collinari argillosi (Toscana, Marche, Umbria, Lazio interno, ecc.) | Argillosi, spesso in pendenza | Potenziale elevato ma rischio erosione/ruscellamento; indispensabili inerbimenti permanenti tra le file (vigneti/oliveti), contour, fasce vegetate; opportuna agroforestazione lineare (siepi/filari) per stabilità di lungo termine |
| Vulcanici (Lazio, Campania, Sicilia, in parte Sardegna) | Andisuoli con allofane/imogolite | CEC altissima, protezione della SOM eccezionale, potenziale SOC ai vertici; attenzione alla fissazione del fosforo → curare P e micorrize |
| Calcarei poveri (Sud e isole, aree interne siccitose) | Bassa dotazione organica, clima siccitoso | Accrescimento SOC lento, ma co-benefici enormi su erosione, infiltrazione, microclima; da spingere su agroforestazione, pacciamature organiche, colture perenni e pascoli gestiti |

## Strumenti decisionali operativi

### A) Quanto carbonio può immagazzinare il mio suolo (0–30 cm).

**Approfondimento tecnico** — Procedura di stima: si parte dalla densità apparente (BD), tipicamente 1,20–1,40 in molti suoli coltivati. La massa di suolo per ettaro si calcola come BD × 0,30 × 10.000. Un punto percentuale di SOC corrisponde quindi a circa 39 tC/ha (con BD ≈ 1,30), da convertire in $tCO_2e$ moltiplicando per 3,67. Una variazione desiderata di SOC (Δ% SOC), moltiplicata per il fattore di conversione (≈39 tC/ha per punto percentuale con BD 1,30),

fornisce il potenziale di $CO_2$ accumulabile. Esempio: con BD 1,30 e un ΔSOC obiettivo di 0,5%, si ottengono circa 19,5 tC/ha, pari a circa 71,5 $tCO_2e$/ha.

**B) Matrice di eleggibilità.** Ogni criterio è valutato da 0 a 2, per un punteggio massimo di 10:

| Criterio | 0 punti | 1 punto | 2 punti |
|---|---|---|---|
| CEC/tessitura | Sabbia | — | Argilla (limo = 1) |
| SOC attuale | Alto | Medio | Basso |
| Erosione | Alta | Media | Bassa |
| Compattazione | Alta | Media | Bassa |
| Acqua | Deficit | Variabile | Buona |

Interpretazione del punteggio: 8–10 indica un suolo adatto a un progetto SOC forte in senso stretto; 5–7 suggerisce un progetto ibrido che combina SOC con agroforestazione o biochar; 0–4 indica che il carbonio va cercato principalmente in CDR strutturale, con il SOC come componente secondaria e i co-benefici come motivazione primaria.

> **Attenzione — errori comuni da evitare** - Sovrastimare il potenziale su suoli sabbiosi o già prossimi alla saturazione di sostanza organica. - Ignorare erosione e compattazione, i due reversal più comuni e meno visibili. - Giudicare il successo di un progetto SOC su un orizzonte di 1–2 anni: la dinamica del SOC è per sua natura decennale. - Progettare le pratiche biologiche (Capitolo 2) senza coordinarle con la stabilizzazione minerale: servono entrambe, non l'una in alternativa all'altra. - Affidarsi solo a un MRV agricolo "documentale", senza una baseline SOC misurata e senza una modellistica coerente (es. RothC/DNDC).

## Checklist finale prima di avviare un progetto SOC

Prima di impostare un progetto SOC, un tecnico dovrebbe poter rispondere positivamente ai seguenti punti: tessitura del suolo limosa o argillosa; CEC medio-alta; SOC iniziale basso o intermedio, quindi con margine di crescita reale; erosione sotto controllo, con un piano anti-

erosione già definito; compattazione gestita, con densità apparente nei range attesi e traffico dei mezzi controllato; disponibilità idrica sufficiente a sostenere una copertura vegetale realistica; profondità attiva del suolo pari o superiore a 30 cm, senza orizzonti limitanti poco profondi; biologia del suolo in fase di ripresa, con inerbimenti o cover crop e riduzione dei disturbi; baseline effettivamente campionata e modello di riferimento scelto (RothC o DNDC a seconda dello scenario); co-benefici chiave — erosione, acqua, biodiversità — esplicitati fin dalla progettazione.

Il suolo non va trattato come un contenitore neutro in cui immettere carbonio: è un dispositivo di stabilizzazione con una propria capacità, una propria mineralogia e propri rischi di reversal. Solo una diagnosi "soil-first" — che integri mineralogia, tessitura e stato di degradazione — consente di stabilire dove il carbon farming SOC produce realmente valore, e come integrarlo, quando necessario, con agroforestazione e biochar. È questa diagnosi a fondare un MRV robusto e crediti credibili nel tempo.



CAPITOLO 2

# Biologia e microbiologia del suolo

*Un ettaro di suolo è più vivo di quanto sembri.*

Il carbon farming non si riduce a un elenco di pratiche agronomiche: è, nella sostanza, gestione del microbioma del suolo. Se la comunità biologica è funzionante, l'input di carbonio — residui ed essudati radicali — viene trasformato in strutture stabili e in humus protetto all'interno degli aggregati. Se la comunità è impoverita o sottoposta a disturbo continuo, quello stesso carbonio ritorna in atmosfera come $CO_2$ prima di potersi stabilizzare. Questo capitolo fornisce gli strumenti concettuali e gli indicatori pratici per leggere lo stato biologico di un suolo e per orientare le pratiche che lo sostengono.

## 2.1 Comunità microbiche del suolo

**Batteri e funghi: funzioni complementari.** I batteri si moltiplicano rapidamente e degradano i substrati semplici — zuccheri, amminoacidi — e sono favoriti da terreni frequentemente lavorati, con picchi di azoto minerale e residui facilmente degradabili. I funghi investono invece nella costruzione di una rete di ife (il micelio), colonizzano residui ricchi in lignina e composti aromatici e producono polisaccaridi che "incollano" le particelle minerali creando aggregati stabili. La loro crescita è più lenta, ma è quella che costruisce stabilità strutturale nel tempo.

Il rapporto funghi/batteri (F/B) è un indicatore sintetico dello stato di disturbo del sistema: un F/B basso segnala gestione intensiva e lavorazioni profonde, con residui facilmente degradabili; un F/B medio è tipico dell'agricoltura conservativa, con cover crop e input organici; un F/B alto caratterizza praterie, pascoli e colture perenni su suoli poco disturbati.

> **Per il tecnico** — L'obiettivo non è "spingere i funghi a tutti i costi", ma riequilibrare il sistema: alzare gradualmente la componente fungina nei suoli troppo sbilanciati verso i batteri, senza però perdere la capacità batterica di far circolare rapidamente i nutrienti. Un F/B in aumento nel tempo, su campionamenti comparabili, è un segnale di consolidamento del sistema più utile del valore assoluto in un singolo momento.

Oltre a batteri e funghi, la food-web del suolo comprende protozoi, che predano i batteri e restituiscono azoto alla soluzione circolante (microbial loop); nematodi, distinti in gruppi funzionali — batterivori, fungivori, predatori, fitoparassiti — il cui mix relativo indica maturità e livello di disturbo del sistema; artropodi come acari e collemboli, che sminuzzano i residui e aprono microhabitat; lombrichi, veri "ingegneri" del suolo che lo rimescolano, ne creano la porosità e producono casting con effetto stabilizzante sugli aggregati.

Per leggere strumentalmente la comunità microbica si dispone di diversi approcci: il PLFA (acidi grassi fosfolipidici) stima in modo relativo il rapporto F/B e la biomassa; qPCR e NGS identificano i taxa chiave, ad esempio i funghi micorrizici arbuscolari (AMF); la biomassa microbica C/N, misurata per fumigazione-estrazione, rappresenta il "capitale vivente" del suolo; la respirazione basale e potenziale indica il metabolismo in corso, ma va interpretata con cautela perché un picco può segnalare tanto un sistema attivo quanto uno stressato o in eccesso di azoto. Tra gli enzimi di riferimento, la β-glucosidasi è un marcatore del turnover del carbonio, la deidrogenasi indica l'attività microbica totale, fosfatasi e ureasi informano rispettivamente su fosforo e azoto.

> **Attenzione** — I confronti tra analisi microbiologiche hanno senso solo nella stessa finestra stagionale, alla stessa profondità di campionamento e dopo condizioni meteorologiche comparabili. Dati raccolti in momenti diversi dell'anno o dopo eventi molto diversi (pioggia intensa, concimazione recente) non sono confrontabili tra loro.

## 2.2 Micorrize e radici

**Micorrize arbuscolari (AMF).** Le AMF instaurano simbiosi con la grande maggioranza delle colture — graminacee, leguminose, molte specie arboree — e offrono vantaggi su più fronti: migliorano l'assorbimento di fosforo e microelementi, estendono l'esplorazione del suolo ben oltre la rizosfera, favoriscono lo stoccaggio di carbonio in profondità grazie alla rete ifale e producono glomalina (GRSP), una glicoproteina direttamente associata alla stabilità degli aggregati.

> **Attenzione** — Le Brassicaceae (colza, senape e affini) sono in genere specie non micorriziche: una miscela di cover crop composta esclusivamente da brassicacee non sostiene le AMF. Le miscele vanno sempre integrate con graminacee e leguminose, che sono ospiti micorrizici, se l'obiettivo è sostenere la componente fungina simbiotica.

**Radici sottili: la "goccia continua" di carbonio.** Il turnover delle radici fini e gli essudati radicali — zuccheri, acidi organici, composti aromatici — alimentano costantemente il microbioma e innescano il processo di stabilizzazione del carbonio. Le colture perenni (medica, trifogli, loietto, miscele pratensi) superano le annuali per profondità di radicazione e per continuità dell'apporto di carbonio nel tempo.

Le strategie colturali orientate a sostenere radici e AMF comprendono: cover crop multi-specie che includano sempre ospiti micorrizici, evitando miscele a base esclusiva di brassicacee; leguminose perenni inserite nei cicli colturali o utilizzate come sovescio o pascolo; riduzione delle lavorazioni profonde, per conservare micelio e aggregati, privilegiando min-till o no-till; mantenimento dei residui come pacciamatura, in modo da garantire uno strato organico continuo che funga da habitat, riserva di umidità e fonte di carbonio labile per la comunità del suolo.

## 2.3 Effetto delle lavorazioni sulla biologia

L'aratura profonda espone la sostanza organica all'ossigeno, accelerandone la mineralizzazione e quindi la perdita come $CO_2$; rompe fisicamente micelio e aggregati, riducendo la continuità della porosità; nel complesso "resetta" il profilo biologico del suolo verso una comunità più batterica e concentrata negli strati superficiali.

Le tecniche di min-till e no-till, al contrario, conservano le strutture e i microhabitat esistenti, favoriscono funghi, lombrichi e la formazione di aggregati, e producono una stratificazione tipica del SOC, che si concentra maggiormente in superficie, dove si trovano la maggior parte delle radici e dei microrganismi attivi.

Diversi fattori gestionali “spengono” la biologia del suolo indipendentemente dalla lavorazione: la compattazione, causata da interventi in condizioni di terreno bagnato, ruote non gemellate o carichi eccessivi; i ristagni idrici, che portano a saturazione e denitrificazione incontrollata con perdita di azoto e stress della comunità; l’eccesso di azoto a rapida disponibilità, che sposta l’equilibrio del sistema verso i batteri “veloci” a scapito della componente fungina; l’uso ripetuto di fungicidi non selettivi, un rischio particolare nei sistemi ad alta intensità di trattamenti.

## 2.4 Indicatori pratici per tecnici

**Test di campo — cinque verifiche rapide.** Lo shovel test consiste nell’estrarre una zolla di circa 20×20×20 cm e osservare se la struttura è glomerulare, se le radici fini sono diffuse e se sono presenti pori continui verticali. L’odore del suolo è un indicatore diretto: un odore “di bosco” (geosmina) segnala un suolo bio-attivo, mentre un odore “fermentato” o acido indica ristagno. Il conteggio dei lombrichi nella zolla fornisce un valore orientativo: cinque-dieci individui o più sono generalmente considerati un buon segnale nei suoli coltivati. Lo slake test verifica se gli aggregati immersi in acqua resistono (buona stabilità strutturale) o si sfaldano rapidamente (fragilità o dispersione). Il test di infiltrazione con anello misura il tempo necessario ad assorbire un centimetro d’acqua: tempi più rapidi, compatibilmente con la tessitura del suolo, indicano una porosità funzionale.

**Lettura essenziale in laboratorio.** Sulla respirazione, un valore troppo alto segnala una “febbre” del suolo — eccesso di azoto labile o disturbo recente — mentre un valore troppo basso indica carenza di carbonio labile o condizioni di stress. Per β-glucosidasi e deidrogenasi conviene valutare i trend nel tempo, a parità di periodo e profondità di campionamento, piuttosto che il singolo dato isolato. La biomassa microbica cresce tipicamente con l’introduzione di cover crop, con i residui usati come pacciamatura e con la riduzione delle lavorazioni.

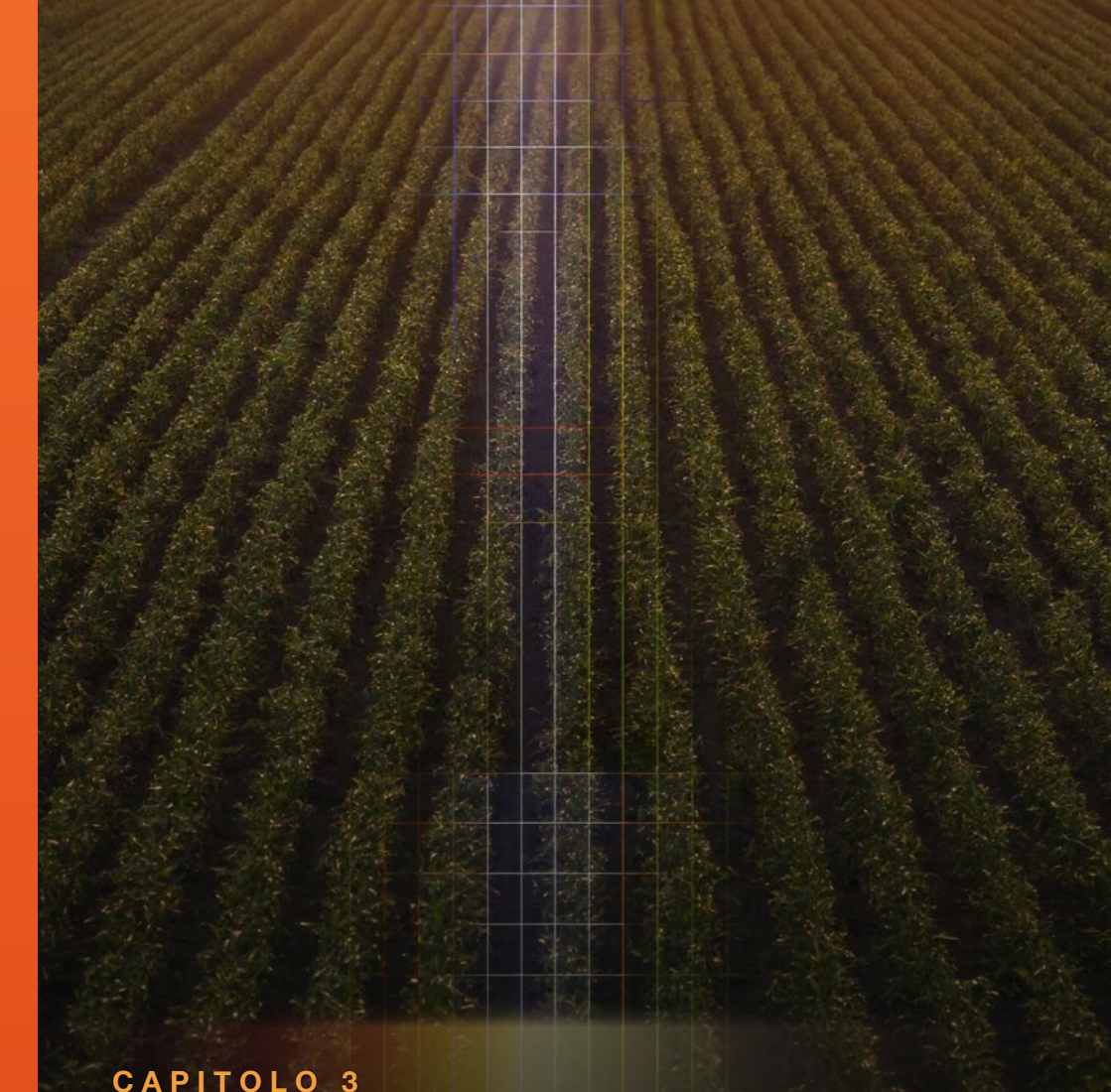
**Campionamento e monitoraggio.** Le profondità di riferimento sono 0 –10 o 0–20 cm, estese a 0–30 cm per i suoli prativi. I campioni vanno compositati con almeno 10–15 prelievi per appezzamento, evitando le zone di bordo. È essenziale rispettare la stagionalità nei confronti

temporali, refrigerare i campioni e consegnarli rapidamente al laboratorio.

**Per il tecnico — come alzare il rapporto F/B senza fare danni (in 12 mesi)** - Inserire cover crop multi-specie con graminacee e leguminose, ospiti delle AMF. - Ridurre profondità e frequenza delle lavorazioni, ricalibrando il parco macchine verso strip-till o no-till dove possibile. - Gestire l'azoto riducendo l'urea a botte, privilegiando frazionamento e forme a lenta cessione, integrando organico e compost. - Mantenere il suolo coperto, usando i residui come pacciamatura ed evitando il suolo nudo. - Limitare i fungicidi non mirati e scegliere biostimolanti pro-microbioma quando effettivamente giustificati.

**Approfondimento tecnico — lettura veloce delle analisi (schema a semaforo)** - Verde: biomassa in aumento, β-glucosidasi in aumento, respirazione moderata, F/B in crescita → sistema in fase di consolidamento. - Giallo: biomassa stabile ma respirazione alta subito dopo una lavorazione → attenzione a stress o effetto priming. - Rosso: biomassa in calo, enzimi in calo, F/B in calo → è necessario rivedere la gestione (disturbi, compattazione, eccesso di azoto).

**Attenzione — errori comuni** - Confrontare dati raccolti in mesi diversi o a profondità diverse. - Costruire miscele di cover crop a base esclusiva di brassicacee e aspettarsi comunque AMF elevate. - Interpretare una respirazione alta come sempre positiva, senza verificarne la causa. - Campionare subito dopo un forte temporale o una concimazione recente, quando i dati non sono rappresentativi delle condizioni normali del suolo.



CAPITOLO 3

# Modellistica del carbonio organico

RothC, Century, DNDC a confronto

*Misurare ciò che non si vede.*

## 3.1 Perché la modellistica è il pilastro analitico del carbon farming

Se il campionamento del suolo fotografa lo stato del carbonio organico (SOC) in un dato momento, la modellistica è ciò che permette di proiettarne l'evoluzione nel tempo e di attribuire, con un grado di confidenza accettabile per un ente terzo, una variazione di stock a una pratica agronomica specifica. Un modello SOC stima quanta biomassa entra nel suolo, quanta parte di quel carbonio viene effettivamente stabilizzata nei pool organici, quanta ne viene persa per decomposizione microbica e come questi flussi si modificano al variare della gestione — introduzione di cover crop, riduzione delle lavorazioni, apporti organici, rotazioni.

Gli standard di mercato più recenti — VM0042, i protocolli CRCF (Carbon Removals and Carbon Farming) dell'Unione Europea, ICVCM — non accettano più la modellistica come sostituto del campionamento, né il campionamento come sostituto della modellistica. Richiedono un approccio ibrido: una baseline misurata sul campo, una simulazione modellistica che proietta lo scenario di progetto su un orizzonte pluriennale, e un remeasurement periodico che ricalibra il modello sui dati reali. Questo capitolo descrive i tre modelli globali di riferimento — RothC, Century, DNDC — la logica con cui ciascuno va scelto in un progetto italiano, e la loro integrazione nello standard "misto" ormai richiesto dai Validation and Verification Body (VVB).

## 3.2 Come funziona un modello SOC: concetti di base

Tutti i modelli di carbonio organico del suolo condividono la stessa architettura logica, articolata in quattro blocchi.

**Input.** Il carbonio che entra nel sistema proviene da residui colturali, apparati radicali, essudati radicali, ammendanti organici (compost, biochar) e reflui zootecnici (manure). La qualità e quantità di questi input dipende dalla coltura, dalla resa e dalla gestione dei residui.

**Pool del carbonio.** Il carbonio organico non è un'unica massa omogenea: viene ripartito in compartimenti (pool) che si decompongono a velocità diverse — una frazione a decomposizione rapida, una a decomposizione media, una lenta e una sostanzialmente stabile o inerte. Questa suddivisione in pool è ciò che consente ai modelli di simulare correttamente sia le variazioni di breve periodo sia l'accumulo di carbonio stabile su decenni.

**Processi di decomposizione.** La velocità con cui ciascun pool si trasforma dipende da temperatura, umidità, tessitura del suolo e gestione agronomica. Sono queste variabili climatiche e pedologiche a differenziare, in pratica, l'output di uno stesso modello applicato a due appezzamenti diversi.

**Output.** Il risultato finale è la traiettoria dello stock di SOC nel tempo, tipicamente proiettata su orizzonti di anni, decenni o — nei modelli più conservativi — secoli.

> **Approfondimento tecnico** — La suddivisione in pool a diversa velocità di turnover è il motivo per cui i modelli SOC "vedono" effetti che il semplice bilancio di massa non coglierebbe: un input di sostanza organica fresca (es. residui di mais) alimenta prevalentemente i pool rapidi e non produce accumulo stabile nel breve periodo, mentre pratiche continuative come il no-till o le cover crop pluriennali spostano progressivamente carbonio verso i pool lenti e stabili, unici a contare ai fini di una rimozione duratura.

## 3.3 RothC — il modello europeo di riferimento

Il RothC (Rothamsted Carbon Model), sviluppato dal Rothamsted Research Institute nel Regno Unito, è il modello più utilizzato al mondo in agronomia e rappresenta lo standard minimo richiesto dalla maggior parte delle metodologie soil carbon, inclusa VM0042.

**Che cos'è.** Un modello empirico-semi-meccanicistico che simula su base mensile le dinamiche del carbonio organico nei suoli agricoli. È semplice, stabile e molto robusto.

**Struttura interna.** RothC ripartisce la sostanza organica del suolo in cinque pool: - **DPM** – Decomposable Plant Material (materiale vegetale decomponibile) - **RPM** – Resistant Plant Material (materiale vegetale resistente) - **BIO** – Biomassa microbica - **HUM** – Humus stabile - **IOM** – Inert Organic Matter (materia organica inerte, non reagisce)

Il modello calcola come i flussi di carbonio si spostano da un pool all'altro nel tempo.

**Dati richiesti.** È qui che sta la sua forza: bastano dati minimi — tessitura del suolo (sabbia/argilla), dati climatici mensili (temperatura, precipitazioni), carbonio organico iniziale (SOC0), gestione dei residui, tipo di coltura, tipo di lavorazione (tillage vs no-till).

**Punti di forza.** Semplice da usare, accettato nella quasi totalità delle metodologie di mercato (VM0042 in primis), bassa incertezza, particolarmente adatto ai suoli e ai climi europei. È ideale per progetti su larga scala, climi temperati, seminativi (cereali, mais, soia, frumento), confronti diretti tra scenario baseline e scenario di progetto.

**Limiti.** Non gestisce bene i sistemi saturi d'acqua, non modella le emissioni di $N_2O$ o $CH_4$, non integra le dinamiche azotate, non è ottimale in contesti tropicali o aridi estremi.

**Quando sceglierlo in un progetto VM0042/CRCF.** RothC è il modello raccomandato quando il PoA (Programme of Activities) supera le 1.000 –20.000 ha, il budget disponibile per il MRV è limitato, il clima è europeo/temperato e serve un'iterazione rapida tra pratiche diverse (cover crop, no-till). Per l'Italia è, nella maggior parte dei casi, il modello di prima scelta.

## 3.4 Century — il modello ecosistemico

Century è un modello storico (1987), sviluppato dall'Colorado State University, concepito come sistema ecosistemico completo che integra i cicli di carbonio, azoto, fosforo e zolfo (C, N, P, S). È, di fatto, la versione "base" del più noto DayCent, la sua declinazione a risoluzione giornaliera.

**Che cos'è.** Un modello complesso che descrive simultaneamente le dinamiche della sostanza organica, i cicli biogeochimici, la gestione colturale avanzata e le interazioni clima-suolo-piante.

**Struttura interna.** Simula il carbonio in pool attivi, lenti e passivi, il ciclo dell'azoto, la biomassa vegetale, i residui, i processi di mineralizzazione e immobilizzazione, le dinamiche del pascolo e, tramite moduli opzionali, gli incendi.

**Dati richiesti.** Significativamente più ampi rispetto a RothC: clima a risoluzione mensile o giornaliera, analisi del suolo complete (SOC, N, P, S, tessitura, densità apparente), gestione colturale dettagliata, apporti fertilizzanti, rotazioni storiche.

**Punti di forza.** È il modello più completo e dettagliato dei tre, particolarmente indicato per sistemi misti cereali + pascolo + colture perenni e per scenari di lungo periodo (20–50 anni).

**Limiti.** Complessità elevata, molti parametri difficili da reperire sul campo, curva di apprendimento ripida, output più difficili da comunicare ad auditor non specialisti, e raramente accettato — da solo — negli standard europei.

**Quando sceglierlo.** Century è la scelta corretta per progetti con una componente rilevante di pascolo rigenerativo, rotazioni articolate (erba medica + cereali + cover crop) e la necessità di calcolare riduzioni di $N_2O$ integrate nel bilancio. È particolarmente adatto a PoA nelle zone appenniniche o del Sud Italia, dove convivono seminativi e zootecnia estensiva.

## 3.5 DNDC — carbonio, azoto e gas serra

Il DNDC (DeNitrification-DeComposition) è il più avanzato dei tre modelli ed è nato originariamente per stimare le emissioni di $N_2O$ e $CH_4$, per essere successivamente esteso anche alla simulazione del SOC.

**Che cos'è.** Un modello meccanicistico bio-geochimico che opera a livello di processo, simulando contemporaneamente i cicli del carbonio e dell'azoto, le emissioni di $N_2O$, NO e $CH_4$ dal suolo, la subsidenza delle torbiere e l'impatto di irrigazione e fertilizzazione avanzata.

**Struttura interna.** Rappresenta in dettaglio nitrificazione, denitrificazione, respirazione microbica, ossidazione del metano, dinamiche della biomassa radicale e un modello idrologico interno per l'umidità del suolo.

**Dati richiesti.** Il fabbisogno informativo è il più elevato dei tre modelli: clima a risoluzione giornaliera, curve di irrigazione, fertilizzazioni dettagliate, parametri di suolo (bulk density, pH, CEC, porosità), residui e biomassa radicale, dati storici di gestione.

**Punti di forza / ideale per.** È il modello di elezione quando si vuole quantificare, oltre al SOC, la riduzione di $N_2O$ e $CH_4$: risaie, pascoli umidi, terreni irrigui intensivi, allevamenti con forte impatto azotato sui campi, aree irrigue della pianura Padana dove serve distinguere con precisione le due componenti gassose.

**Limiti.** È pesante, costoso e richiede competenze modellistiche dedicate; può soffrire di overfitting; non è ottimale come unico modello per il solo SOC — la pratica corrente è affiancarlo a RothC piuttosto che sostituirlo.

**Quando sceglierlo.** DNDC entra in un progetto VM0042/CRCF quando l'obiettivo è certificare crediti "dual" — rimozioni SOC più riduzioni di gas a effetto serra — in presenza di stalle bovine ad alta emissione di $N_2O$ nei campi o di aree irrigue dove la componente $CH_4/N_2O$ ha un peso economico rilevante nel progetto.

## 3.6 Confronto sintetico tra i tre modelli

| Criterio | RothC | Century | DNDC |
|---|---|---|---|
| Origine | Rothamsted Research (UK) | Univ. Colorado, 1987 | Modello biogeochimico $N_2O/CH_4$ esteso a SOC |
| Tipologia | Empirico-semi-meccanicistico | Ecosistemico (C, N, P, S) | Meccanicistico bio-geochimico a livello di processo |
| Risoluzione temporale | Mensile | Mensile/giornaliera | Giornaliera |

| Criterio | RothC | Century | DNDC |
|---|---|---|---|
| Dati richiesti | Minimi | Ampi | Molto ampi |
| Gas simulati | Solo dinamica SOC | C, N (non modella direttamente $N_2O/CH_4$) | $CO_2$, $N_2O$, NO, $CH_4$ |
| Punto di forza | Semplicità, robustezza, bassa incertezza | Completezza per sistemi misti e lungo periodo | Precisione su emissioni azotate e metano |
| Limiti principali | No $N_2O/CH_4$, no suoli saturi | Complessità, dati difficili da reperire | Onere di dati e competenze elevato |
| Contesto ideale | Seminativi, climi temperati, vigneti, oliveti | Sistemi misti seminativo-pascolo, Appennino, Sud Italia | Risaie, aree irrigue intensive, zootecnia |
| Accettazione VM0042/CRCF | Ampia, spesso raccomandato | Accettato per componenti specifiche | Complementare, per crediti "dual" |

## 3.7 Modellistica e campionamento: lo standard GOLD

Nessuno standard di mercato robusto accetta oggi la modellistica come fonte unica di quantificazione. CRCF, ICVCM e VM0042 convergono su una sequenza operativa che può essere considerata lo standard "GOLD" del settore:

1. **Baseline SOC misurata** — non stimata, campionata sul campo prima dell'avvio del progetto.
2. **Modellistica SOC** — simulazioni proiettate su un orizzonte di 20–30 anni, calibrate sui dati di baseline.
3. **Remeasurement SOC** ogni 3–5 anni, per ricalibrare il modello sui dati reali e correggere eventuali derive.
4. **Prove di implementazione pratica (MRV)** — evidenza documentale e digitale che le pratiche dichiarate (cover crop, no-till, apporti organici) sono state effettivamente eseguite.

Questo approccio combinato riduce l'incertezza statistica associata alla sola modellistica e garantisce l'integrità del credito generato, che è precisamente ciò che i VVB verificano in fase di audit.

## 3.8 Caso studio: un progetto mais–soia da 100 ettari nel Nord Italia

Per rendere concreto il confronto tra modelli, si consideri un progetto tipo su 100 ettari in rotazione mais–soia nel Nord Italia, con i seguenti dati di input: resa mais 12 t/ha (6 t/ha di residui), resa soia 3,5 t/ha (4 t/ha di residui), introduzione di cover crop invernale e adozione di no-till parziale, con dati climatici locali.

Applicando i tre modelli su un orizzonte di 20 anni, gli output risultano i seguenti:

- **RothC**: +0,45% SOC, corrispondente a circa 64 t $CO_2$/ha.
- **Century**: +0,52% SOC, corrispondente a circa 74 t $CO_2$/ha.
- **DNDC**: +0,40% SOC (circa 57 t $CO_2$ eq) più una riduzione di $N_2O$ quantificabile in circa 2 t $CO_2$ eq aggiuntive.

Le differenze tra i tre output sono contenute in valore assoluto ma non trascurabili ai fini della quantificazione dei crediti. RothC si conferma un modello robusto ed efficace per la componente SOC di base; Century tende a stimare un accumulo leggermente superiore, coerente con la sua rappresentazione più dettagliata dei cicli nutritivi; DNDC, pur restando più conservativo sulla sola componente SOC, aggiunge valore quantificando la riduzione di $N_2O$, un elemento che gli altri due modelli non colgono.

> **Per il tecnico** — In un caso come questo, la scelta pragmatica non è "quale modello è più corretto" ma quale combinazione risponde meglio agli obiettivi del progetto: se l'obiettivo è un credito SOC puro su seminativo, RothC è sufficiente e più facilmente auditabile; se si vuole valorizzare anche la riduzione di $N_2O$ (per esempio in rotazioni con apporti azotati significativi), affiancare DNDC aumenta il valore del progetto a fronte di un costo di analisi più elevato.

## 3.9 Quale modello per un PoA italiano di grande scala (5.000–20.000 ha)

Per un Programme of Activities di dimensione industriale, la combinazione ottimale — quella raccomandata da diversi VVB per il contesto italiano — non prevede un modello unico ma un'architettura a tre livelli:

- **RothC come backbone**, per la componente SOC di base: veloce, stabile, facile da auditare, ideale su seminativi, vigneti, oliveti.
- **Century per i sistemi misti** seminativo-pascolo, particolarmente indicato per PoA in aree appenniniche, nel Sud Italia e nei contesti di zootecnia estensiva.
- **DNDC come modulo aggiuntivo** limitato ai casi in cui si voglia valorizzare la componente $N_2O/CH_4$: progetti zootecnici intensivi, aree irrigue padane, filiere latte e carne ad alte emissioni.

Per essere pienamente allineato a CRCF, ICVCM e VM0042, questo impianto modellistico va inoltre calibrato con campioni reali di suolo, corredato da un uncertainty discount conforme ai requisiti CRCF, validato tramite audit di un VVB indipendente, e mantenuto trasparente nei parametri di calcolo. È questo pacchetto — modellistica multilivello più campionamento più audit indipendente — che costituisce un MRV di alta integrità, idoneo a essere presentato sia su VM0042 sia su CRCF, sia su registri nazionali come quello CREA, sia su meccanismi Articolo 6.

> **Messaggio chiave** — Nessun modello SOC è perfetto: tutti vanno usati in combinazione con campionamenti reali, mai come sostituto. Per l'Italia, RothC resta il modello più funzionale nella maggioranza dei casi, per compatibilità con VM0042 e per il rapporto costo/robustezza. DNDC diventa superiore nei progetti con risaie o forti input organici; Century è la scelta più completa nei progetti complessi di lungo periodo con componente pascoliva, a fronte di un onere gestionale più alto.

## 3.10 Campionamento del suolo audit-proof: numerosità, massa equivalente, carbonati

I modelli descritti in questo capitolo restano stime finché non sono ancorati a misure reali del suolo. Tre aspetti del campionamento decidono se quelle misure reggeranno davanti a un verificatore (VVB); sono anche i tre errori più frequenti nei progetti agricoli italiani.

### Numerosità dei campioni e variazione minima rilevabile (MDD)

Il carbonio organico del suolo ha una variabilità spaziale elevata: entro un appezzamento apparentemente omogeneo il coefficiente di variazione (CV) è tipicamente del 20–40%. Il numero di campioni non si sceglie a forfait, ma si dimensiona in funzione della variazione minima che il progetto deve poter rilevare (Minimum Detectable Difference, MDD). In prima approssimazione il numero di repliche cresce con il quadrato del rapporto tra variabilità e differenza da cogliere: $n \approx (t \cdot CV/MDD)^2$. Esempio: con CV = 30% e l'obiettivo di rilevare una variazione del SOC del 10% con confidenza del 90%, servono dell'ordine di 25–30 campioni compositi per strato omogeneo — molti più dei "10–15" spesso citati. Sottostimare n è il modo più rapido per veder respinto un claim in audit.

> Per il tecnico — Stratificare prima di contare: più il campo è suddiviso in unità omogenee per suolo, pendenza e storia colturale, più basso è il CV interno a ciascuno strato e più efficiente (meno campioni a parità di potenza statistica) il piano di campionamento.

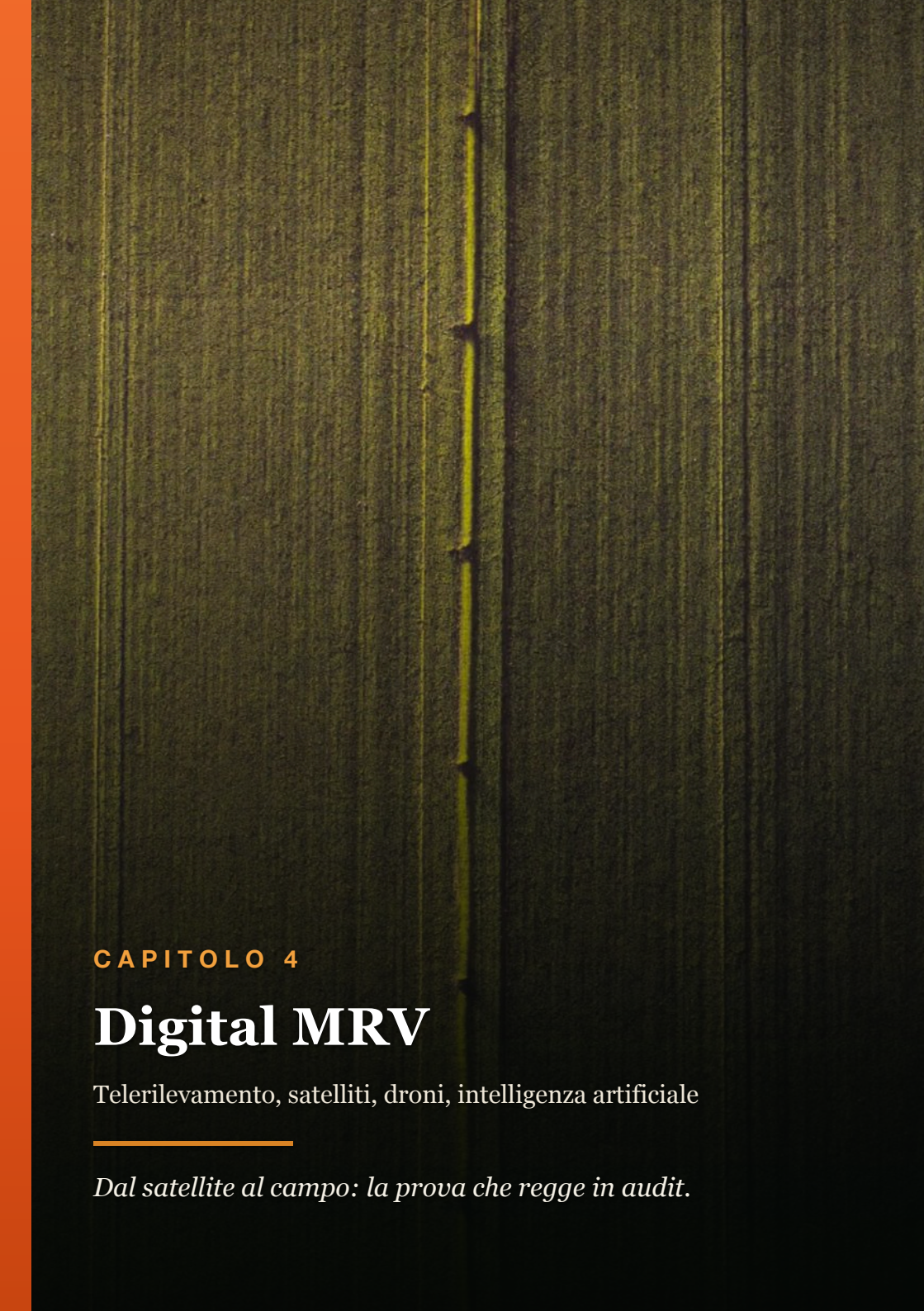
### Massa di suolo equivalente (Equivalent Soil Mass, ESM)

Gli stock di carbonio si confrontano nel tempo a profondità fissa (ad esempio 0–30 cm) solo se la densità apparente non cambia. Ma le pratiche di Carbon Farming — no-till, apporti di sostanza organica, decompattazione — modificano proprio la densità apparente: un campionamento a profondità fissa confronta allora masse di suolo diverse e distorce la variazione di stock. Il metodo della massa equivalente (Ellert & Bettany, 1995; von Haden et al., 2020) calcola lo

stock su una massa di suolo di riferimento costante, non su uno spessore costante, eliminando l'artefatto. È oggi la buona pratica attesa dai principali standard per i confronti pre/post. In particolare il no-till tende a redistribuire il carbonio verso gli strati superficiali senza necessariamente aumentare lo stock in profondità: senza correzione ESM il "guadagno" apparente in superficie è in buona parte un artefatto di densità.

## Suoli calcarei: distinguere carbonio organico e inorganico

Molti suoli agricoli italiani — gran parte della Pianura Padana, aree appenniniche e mediterranee — sono calcarei, cioè contengono carbonati (carbonio inorganico del suolo, SIC). I metodi a combustione secca che misurano il carbonio totale non distinguono il carbonio organico da quello dei carbonati: in un suolo calcareo la misura del SOC risulta gonfiata se non si rimuove prima il carbonio inorganico (pretrattamento acido, tipicamente con HCl, o metodi che quantificano separatamente il SIC). Non correggere per i carbonati è un errore sistematico che, in Italia, riguarda una quota rilevante dei terreni: va previsto nel piano di campionamento e dichiarato nel metodo analitico.



CAPITOLO 4

# Digital MRV

Telerilevamento, satelliti, droni, intelligenza artificiale

*Dal satellite al campo: la prova che regge in audit.*

## 4.1 Perché il Digital MRV è ormai imprescindibile

Il MRV (Monitoring, Reporting, Verification) agricolo tradizionale si fondava su autocertificazioni dell'agricoltore, visite in campo a cadenza annuale e campionamenti di suolo sporadici. Questo modello non è più accettabile né dai buyer istituzionali di crediti di carbonio né dai nuovi standard internazionali, ed è quindi in atto una transizione, ormai inevitabile, verso il Digital MRV: sistemi di monitoraggio digitali, georeferenziati e continuativi che affiancano — senza sostituirlo del tutto — il monitoraggio fisico.

Le ragioni che rendono questa transizione strutturale sono cinque:

1. **Riduzione dei costi.** Il Digital MRV consente di ridurre i campionamenti fisici del 60–80% e di diminuire la frequenza delle verifiche in campo; più dati oggettivi disponibili significano anche meno conflitti interpretativi con i verificatori.
2. **Scalabilità.** Un PoA da 500 ha è gestibile manualmente; uno da 5.000 ha diventa difficile; uno da 50.000 ha è di fatto impossibile senza un sistema digitale di monitoraggio.
3. **Trasparenza.** CRCF, ICVCM e i buyer corporate richiedono oggi un audit trail digitale, dati indipendenti dal dichiarante e sistemi georeferenziati verificabili.
4. **Velocità.** Il monitoraggio satellitare consente frequenze mensili anziché annuali.
5. **"Proof of practice".** Il Digital MRV non misura il SOC in modo diretto, ma certifica che le pratiche dichiarate (cover crop, no-till, gestione del pascolo) sono state effettivamente eseguite sul campo — un requisito essenziale per la quasi totalità delle metodologie, VM0042 inclusa.

## 4.2 Le basi del telerilevamento in agricoltura

Il telerilevamento raccoglie dati da satelliti, droni, sensori aerei (velivoli o ultraleggeri) e reti IoT di sensori installati sul terreno, e permette di analizzare vegetazione, suolo, acqua, condizioni di stress e pratiche di gestione colturale. La qualità di un dato telerilevato si valuta lungo quattro dimensioni di risoluzione:

- **Spaziale** — dimensione del pixel (10 m, 3 m, 30 m…), che determina il livello di dettaglio del singolo appezzamento.
- **Spettrale** — numero e ampiezza delle bande elettromagnetiche registrate.
- **Temporale** — frequenza di acquisizione (ogni 5 giorni, giornaliera…), che condiziona la capacità di seguire l'evoluzione stagionale.
- **Radiometrica** — sensibilità del sensore nel distinguere piccole variazioni di intensità del segnale.

## 4.3 I satelliti di riferimento nel Digital MRV agricolo

Quattro piattaforme satellitari coprono, in combinazione, la quasi totalità delle esigenze di un progetto di carbon farming:

- **Sentinel-2** (ESA, ottico) — risoluzione 10 m, bande nel visibile, NIR e SWIR, rivisitazione ogni 5 giorni. È lo strumento di riferimento per NDVI, cover crop, biomassa e riconoscimento colture.
- **Sentinel-1** (ESA, radar SAR) — sensore attivo, penetra le nuvole e opera sia di giorno sia di notte; è particolarmente efficace per l'umidità del suolo, il riconoscimento delle lavorazioni, la rugosità superficiale e il monitoraggio dell'irrigazione.
- **Landsat 8/9** — serie storica dal 1984, risoluzione 30 m; insostituibile per ricostruire serie temporali lunghe.
- **PlanetScope** — risoluzione 3–5 m, acquisizione quotidiana, a pagamento; è la piattaforma più usata in numerosi PoA commerciali europei per il livello di dettaglio che offre.

## 4.4 Cosa può rilevare un satellite nel carbon farming

Su un progetto di carbon farming, il telerilevamento satellitare è in grado di verificare in modo affidabile:

- **Cover crop** — presenza o assenza, tipo di vegetazione, vigore, durata del periodo di copertura.

- **No-till e min-till** — i pattern radar SAR rilevano differenze di rugosità superficiale che permettono di distinguere aratura profonda, minima lavorazione e assenza di lavorazione.
- **Pascolo rotazionale** — tracce di consumo della vegetazione, cicli di recupero, intensità d'uso.
- **Biomassa** — quantità relativa, andamento stagionale, vigore vegetativo tramite indici come NDVI ed EVI.
- **Irrigazione** — variazioni dell'indice NDWI e dati SAR per il monitoraggio dell'umidità del suolo.
- **Erosione e degrado** — variazioni di albedo, perdita di copertura vegetale, cicatrici erosive.

## 4.5 Cosa un satellite non può fare

**Attenzione** — Il satellite supporta e rafforza il sistema MRV, ma non lo sostituisce. In particolare, nessuna piattaforma satellitare oggi disponibile è in grado di: misurare direttamente il SOC (carbonio organico del suolo); misurare $CH_4$ o $N_2O$, salvo in progetti di scala mega-industriale con sensoristica dedicata; distinguere la biomassa radicale da quella epigea; determinare la profondità di lavorazione con precisione millimetrica; sostituire integralmente il campionamento fisico del suolo. Qualunque progetto che presenti il telerilevamento come sostituto — anziché come complemento — del campionamento reale espone il credito generato a un rischio elevato in fase di audit.

## 4.6 Indici vegetazionali: i "numeri" del telerilevamento

Gli indici vegetazionali traducono i dati spettrali grezzi in indicatori interpretabili:

- **NDVI** (Normalized Difference Vegetation Index) — vigore della vegetazione e condizioni di stress.
- **EVI** (Enhanced Vegetation Index) — più stabile del NDVI in condizioni di elevata biomassa.
- **SAVI** (Soil Adjusted Vegetation Index) — corretto per l'effetto del suolo nudo, utile su coperture vegetali scarse.

- **NDWI** (Normalized Difference Water Index) — contenuto idrico della vegetazione.
- **MSAVI** (Soil Moisture Adjusted Vegetation Index) — particolarmente efficace in aree semi-aride.

## 4.7 Droni: la risoluzione del dettaglio

Dove il satellite fornisce copertura e frequenza, il drone fornisce risoluzione. Con capacità fino a 1–5 cm/pixel, i droni sono lo strumento di elezione per il rilievo di erosione, compattazione del suolo e verifica puntuale di interventi meccanici, e costituiscono il supporto essenziale per il "ground truth" — la verifica a terra che calibra e valida i dati satellitari su scala più ampia.

## 4.8 Intelligenza artificiale e dati geospaziali

L'intelligenza artificiale è il livello che trasforma i flussi di dati satellitari e da drone in informazione operativa. I modelli di AI applicati al Digital MRV consentono di: classificare le colture (crop mapping); riconoscere automaticamente la presenza di cover crop; identificare le lavorazioni profonde; predire la biomassa con metodi non lineari; stimare indicatori indiretti di SOC; generare mappe di baseline e mappe post-intervento.

Le reti neurali utilizzate in questo contesto integrano più flussi di dati contemporaneamente — immagini satellitari, dati meteorologici, dati agronomici, le pratiche dichiarate dall'agricoltore e lo storico del singolo campo — producendo stime più accurate di quanto ottenibile da una singola fonte isolata.

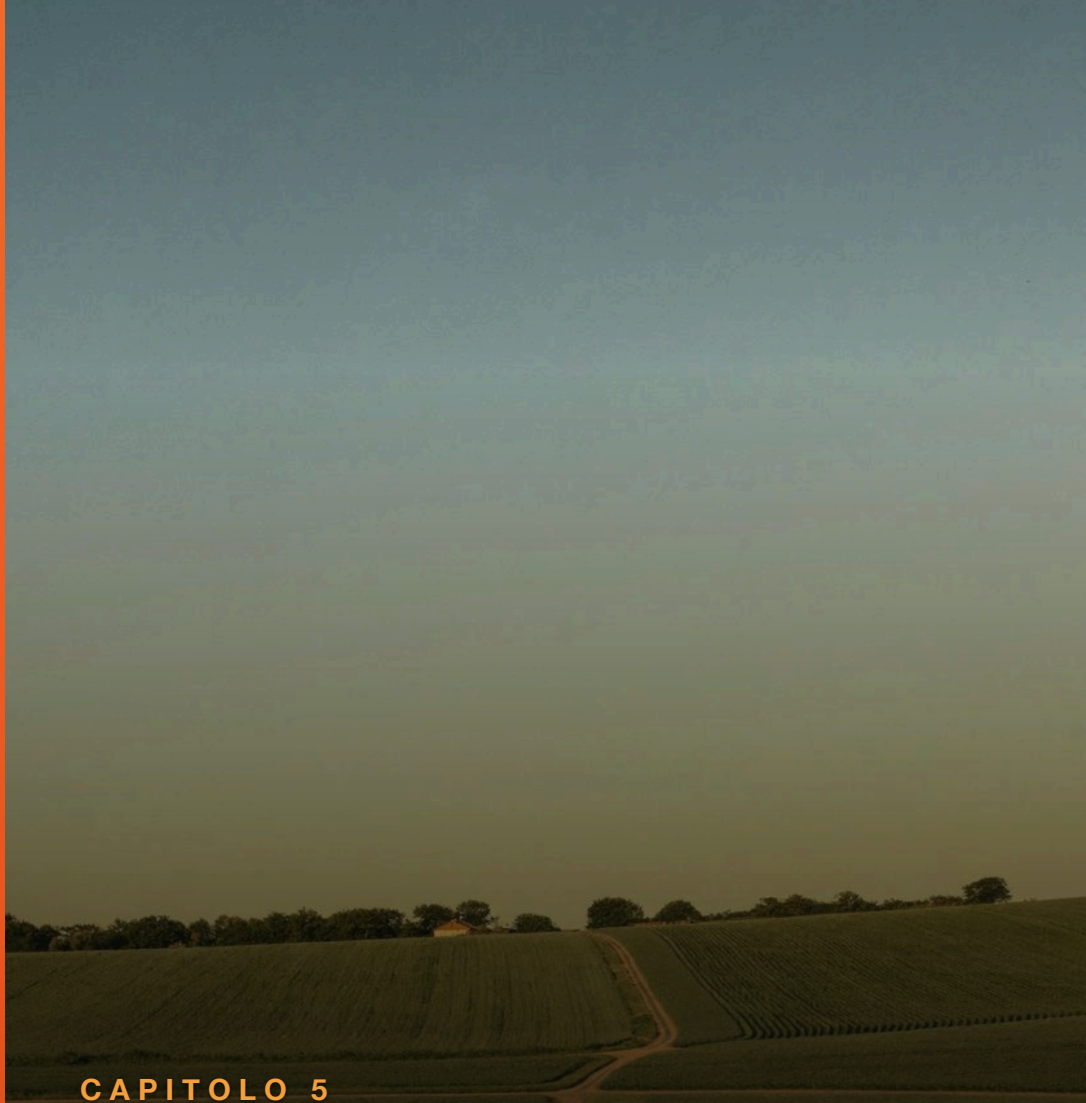
> **Per il tecnico** — L'AI applicata al Digital MRV non "misura" il carbonio: apprende correlazioni tra pattern osservabili da remoto (vigore, rugosità, umidità, storico gestionale) ed esiti noti da campionamenti reali. La sua affidabilità dipende quindi direttamente dalla qualità e quantità dei dati di calibrazione: un modello addestrato su pochi campioni di suolo, per quanto sofisticato l'algoritmo, resta debole in fase di audit.

## 4.9 Il Digital MRV nei progetti PoA

Un Programme of Activities strutturato in modo professionale integra il Digital MRV in una piattaforma operativa che comprende: un ambiente cloud dedicato, un database georeferenziato dei singoli campi, la raccolta dati in formato digitale, la generazione di report automatici destinati ai verificatori, un audit trail tracciato e inalterabile, e un'integrazione con applicazioni mobile che consentono agli agricoltori di documentare direttamente le pratiche eseguite.

Con questa architettura, il PoA diventa scalabile su decine di migliaia di ettari, verificabile in modo indipendente, trasparente per i buyer e gli enti di certificazione, e conforme ai requisiti di CRCF, ICVCM e VM0042.

> **Sintesi operativa** — Il Digital MRV è ormai un requisito, non un'opzione, nei progetti di carbon farming moderni. I satelliti verificano che le pratiche siano state eseguite, non misurano direttamente il SOC. L'intelligenza artificiale aumenta la qualità dei dati e riduce i costi di monitoraggio, rendendo gestibili PoA su scala di 10.000–50.000 ettari — una soglia impensabile con il solo monitoraggio manuale.



CAPITOLO 5

# Standard internazionali in pratica

Guida operativa VM0042 e allineamento CRCF / ICVCM

*Un mercato plurale: scegliere lo standard giusto.*

## 5.1 Dove sono già i progetti: la mappa degli standard operativi

Mentre in Italia e in Europa si costruisce il layer regolatorio pubblico (Registro CREA, CRCF), il Carbon Farming certificato esiste già, oggi, su registri volontari internazionali con progetti reali, ettari misurati e crediti emessi. Per il tecnico che deve orientare un cliente o strutturare un progetto, conoscere questo terreno operativo non è un esercizio accademico: è la differenza tra proporre uno standard "di carta" e uno standard che ha già superato validazione, verifica e prima emissione.

**Verra VCS – VM0042 (Improved Agricultural Land Management, IALM).** È lo standard oggi più rilevante al mondo per il Carbon Farming "serio" — suolo più pratiche agronomiche — aggiornato a v2.1 (2024) e v2.2 (2025), con distinzione netta tra rimozioni e riduzioni. A gennaio 2025 Verra riportava 72 progetti in validazione e 52 in sviluppo (124 in pipeline), rendendo VM0042 la seconda metodologia più usata nell'intero programma VCS. A settembre 2025 risultano 12 progetti soil carbon effettivamente registrati a livello globale (5 dei quali sviluppati da Boomitra). Il primo progetto con VCU effettivamente emesse è stato *Involtor Future Agriculture East-Europe Project* (VCS 3973, Europa orientale), con 64.645 VCU verificate — gennaio 2025. Altri esempi concreti già operativi: *AgreenaCarbon Project*, 1,6 milioni di ettari di agricoltura rigenerativa distribuiti tra UK, Danimarca, Ucraina, Moldova, Romania, Baltico, Bulgaria e Spagna; *Boomitra East Africa Croplands & Grasslands* in Kenya; il progetto flagship di Boomitra su 1,5 milioni di acri di pascoli rigenerativi nei deserti Chihuahuan e Sonoran (Messico); *Boomitra SOVIN* per piccoli agricoltori indiani (Haryana, Punjab); un pilota in Vietnam su soia come cover crop. In sintesi: una dozzina di progetti già registrati, multi-continentali, con decine in arrivo.

**Climate Action Reserve (CAR) – U.S. Soil Enrichment Protocol (SEP).** Il protocollo v1.1 è stato approvato nel 2025 dall'ICVCM come metodologia di alta integrità (CCP-approved) — un riconoscimento che pochi standard agricoli hanno ottenuto. A oggi risultano circa 1 milione di crediti già emessi e 2 progetti registrati destinati a superare 1 milione di crediti/anno: *Indigo U.S. Project No.1* (Indigo Ag) e

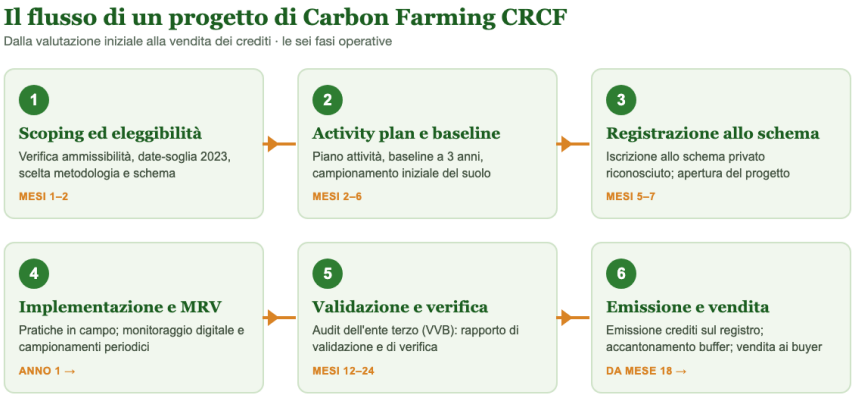
*AgriCapture Soil Enrichment Project*, entrambi concentrati su colture estensive in Arkansas, Missouri, Mississippi, Texas.

**Gold Standard – Soil Organic Carbon (SOC) Framework Methodology v1.0.** Copre no/low-till, cover crops, pascoli gestiti, con moduli 2024-2025 dedicati a Zero Tillage, Cover Crops, Managed Pastures e linee guida aggiornate di modellistica SOC. È applicato sul campo, ma spesso all'interno di progetti ibridi (energia rinnovabile + uso del suolo, biogas con benefici sul suolo), per cui il perimetro "Carbon Farming puro" resta più sfumato. Diffusione: Europa, Africa, Asia, America Latina.

**Plan Vivo.** Standard storico per progetti community-based di agroforestazione e agricoltura conservativa (metodologia/tool PT001). Conta 15 progetti registrati e 41 in pipeline, oltre 2,2 milioni di tonnellate di $CO_2$ complessive, quasi tutti in Africa, Asia e America Latina, spesso su piccola scala smallholder — esempio: *CommuniTree* in Nicaragua, o i progetti in Kenya, Uganda, Mali/Senegal.

**Standard minori ma rilevanti** (spesso "laboratorio" per le future regole CRCF): American Carbon Registry (metodo *Avoided Conversion of Grasslands and Shrublands*), l'Australian Emissions Reduction Fund (*Soil Organic Carbon Sequestration*), l'Alberta Offset System canadese (*Conservation Cropping Protocol*), il Label Bas-Carbone francese.

> **Approfondimento tecnico** — La lettura corretta di questi numeri: siamo di fronte a un mercato ancora giovane (poche decine di progetti Carbon Farming "puro" registrati a livello mondiale) ma con una pipeline enorme (124 solo su VM0042) e — punto decisivo — con almeno due metodologie (VM0042 e SEP) già validate ad alta integrità dall'ICVCM. Questo significa che lo spazio per un first mover italiano serio, con un progetto tecnicamente solido, è concretamente aperto.




## 5.2 Guida operativa VM0042: come si costruisce un progetto passo-passo

VM0042 – Improved Agricultural Land Management è la metodologia Verra che certifica in un unico framework: l'incremento di carbonio organico nel suolo (SOC), la riduzione delle emissioni di $N_2O$ da fertilizzanti, la riduzione di $CH_4$/$N_2O$ da gestione dei residui, la riduzione dei consumi di combustibili fossili legata a minori lavorazioni, e la biomassa permanente (siepi, filari, agroforestazione leggera). È lo standard più adatto al contesto italiano perché copre esattamente le pratiche applicabili su seminativi (cover crop, min/no-till, rotazioni complesse, precision fertilizing, gestione residui), su colture legnose — vigneto, oliveto, frutteto — (inerbimento permanente, compost/ammendanti, tecniche rigenerative, filari come perennial biomass) e su pascolo (pascolo rotazionale, gestione dell'altezza del cotico, riduzione del sovrapascolamento, re-seeding di specie perenni).

Un progetto VM0042 si costruisce su tre pilastri.

**Pilastro 1 — Baseline.** Rappresenta lo scenario "senza progetto" (business as usual) e si costruisce in quattro fasi:

1. *Analisi storica* degli ultimi 3-10 anni: gestione delle arature, fertilizzazioni azotate, irrigazione, rotazioni, pascolo e carico

animale, gestione del suolo nei vigneti (diserbo vs. inerbimento).

2. *Modellistica SOC*: VM0042 richiede l'uso di modelli scientifici riconosciuti — RothC, Century, DNDC, COMET — con calibrazione locale.
3. *Stratificazione dei campi*: per tipo di suolo, topografia, coltura e storicità delle lavorazioni. Serve a ridurre il numero di campioni di suolo necessari, con impatto diretto sui costi.
4. *Sampling baseline* (opzionale ma raccomandato): tipicamente a 0-30 cm e 30-60 cm, con analisi TOC e densità apparente, come ancoraggio empirico al modello.

**Pilastro 2 — Addizionalità.** Va dimostrato che: la pratica non è obbligatoria per legge (es. le cover crop non sono un obbligo); non è pratica comune a livello locale (con supporto di statistica agronomica CREA/ISTAT); comporta costi aggiuntivi o mancati ricavi per l'agricoltore; l'agricoltore ha sottoscritto un impegno formale (addizionalità contrattuale). In Italia l'addizionalità è, in questa fase, relativamente facile da dimostrare: solo il 7-10% degli agricoltori pratica cover cropping, meno del 5% adotta no-till stabile, e pochissimi praticano agroforestazione o pascolo rigenerativo.

**Pilastro 3 — Quantificazione.** È la componente più tecnica, e VM0042 distingue nettamente rimozioni e riduzioni.

- *Rimozioni*: SOC (calcolato tramite modelli pedologici calibrati + dati di gestione annuali) e biomassa permanente di alberi/siepi (modello allometrico standard).
- *Riduzioni di emissioni*: $N_2O$ da fertilizzanti (effetto cover crop, precision fertilizing, min/no-till che riduce la mineralizzazione dell'azoto); $CH_4$/$N_2O$ da residui (eliminazione della bruciatura, gestione di compost e letame); $CO_2$ da combustibili (meno arature = meno gasolio).

Verra quantifica rimozioni e riduzioni **separatamente** — un punto operativo cruciale, perché gli acquirenti più esigenti (SBTi, target Net Zero) chiedono rimozioni, non riduzioni.

Sulla **permanenza**, il SOC va mantenuto per un minimo di 10 anni, con un buffer di rischio di reversibilità del 10-25%; nei sistemi agroforestali, dove la permanenza sale a 30-50 anni, il buffer si riduce proporzionalmente. Sul fronte **MRV**, VM0042 richiede dati annuali delle pratiche (diario di campo digitale), immagini satellitari, misure periodiche dei suoli (tipicamente ogni 5 anni) e audit annuale da parte di un VVB (Validation/Verification Body) accreditato.

**La pipeline progettuale in pratica** si articola in sette step: (1) *PoA Design* — per grandi superfici, 5.000-20.000 ha, con definizione dei confini geografici, analisi macro-colturale, scelta delle pratiche eleggibili, stratificazione dei suoli e schema contrattuale con gli agricoltori aderenti; (2) *raccolta baseline* — dati storici, campionamento suoli, modellistica SOC; (3) *implementazione* — cover crop/min-till, filari alberati, pascolo rotazionale, compost, digitalizzazione della gestione aziendale; (4) *test di addizionalità* — economica, normativa, di common practice regionale; (5) *quantificazione ex-ante* — previsione dei crediti a 10 anni, stima dei costi di PoA, economie di scala; (6) *validazione e registrazione Verra* — Project Document, audit VVB, iscrizione nel registro VCS; (7) *crediti annuali ex-post* — monitoraggio, verifica, emissione delle VCU, vendita.

> **Per il tecnico** — Range di resa osservati nei progetti VM0042 registrati/sottomessi: seminativi (Europa/USA) 1,5-3,5 $tCO_2$/ha/anno da SOC più 0,3-1,0 $tCO_2$/ha/anno da riduzioni $N_2O$, per un totale tipico di 2-4,5 t/ha/anno; pascoli rigenerativi 1,0-2,5 $tCO_2$/ha/anno; agroforestazione leggera 5-10 $tCO_2$/ha/anno; vigneti e oliveti rigenerativi 1,5-3 $tCO_2$/ha/anno. Questi numeri sono il punto di partenza per qualsiasi stima ex-ante da presentare a un cliente.

**L'economia di scala è decisiva in Italia.** Il 78% delle aziende agricole italiane ha meno di 10 ettari: un progetto singolo è impraticabile dal punto di vista economico. Un progetto isolato da 200 ha costa circa 110-150 €/ha/anno; un PoA (Programme of Activities) da 5.000 ha scende a 40-60 €/ha/anno; un PoA da 20.000 ha porta il costo sotto i 30 €/ha/anno. Solo a questa scala bastano 15-20 €/$tCO_2$ di prezzo di mercato per rendere il progetto profittevole — il che rende

l'aggregazione, non il singolo progetto, l'unica via realmente percorribile per il contesto fondiario italiano.

## 5.3 I tre framework paralleli che un progetto deve soddisfare

Un progetto VM0042 nasce per il mercato volontario. Per diventare un asset di qualità superiore, riconoscibile nel mercato europeo emergente e potenzialmente nel mercato compliance, deve rispondere in parallelo a tre framework distinti che condividono la stessa logica di fondo — rigore, addizionalità, permanenza, tracciabilità — ma la declinano con requisiti propri.

**Carbon Core Principles (CCP) – ICVCM.** È lo standard globale che stabilisce se un credito è "di alta integrità". I dieci principi CCP includono: rigore scientifico, addizionalità, permanenza, MRV robusto, assenza di double counting, governance forte, salvaguardie sociali, trasparenza, mitigation hierarchy.

**CRCF – EU Carbon Removal Certification Framework.** Il sistema europeo di certificazione, basato sul criterio QU.A.L.I.T.Y (già introdotto nel Volume 1): Quantification, Additionality, Long-term storage, Sustainability, Information, Trade, Young market safeguards.

**Articolo 6 dell'Accordo di Parigi.** Disciplina il trasferimento internazionale di crediti (ITMO — Internationally Transferred Mitigation Outcomes), con Corresponding Adjustments, prevenzione del double counting, trasparenza MRV e necessità di un'autorità nazionale abilitante.

## 5.4 La matrice di allineamento VM0042 → CCP → QUALITY → Art.6

La tabella seguente sintetizza, criterio per criterio del CRCF, cosa VM0042 copre già nativamente e quale gap resta da colmare per un allineamento completo.

| Criterio QUALITY | Requisito CRCF | Cosa copre già VM0042 | Gap da colmare |
|---|---|---|---|
| **QU – Quantification** | Quantificazione scientifica, conservativa, trasparente | Modelli scientifici SOC (RothC, Century, DNDC); baseline modellistica + campionamento; set minimi di dati annuali; approccio conservativo con buffer discounting | Evidenza di congruenza metodologica con le linee guida UE sul soil carbon; trasparenza sui parametri di modello; un "uncertainty discount" aggiuntivo |
| **A – Additionality** | Addizionalità normativa, economica, pratica e di common practice UE | Test economico (financial additionality); test di practice (common practice); dichiarazione d'intenzione dell'agricoltore | Un "Legal Additionality Test EU" (verifica che la pratica non sia già imposta da PAC, direttiva nitrati, PSR, eco-schemi) e un "Common Practice Test EU" su dataset JRC/CREA |
| **L – Long-term storage** | Rimozioni con permanenza verificata, gestione del "risk of reversal", monitoraggi oltre 10 anni, buffer obbligatorio | Buffer pool; permanenza minima 10 anni; gestione delle reversal; monitoraggi periodici | Il CRCF classifica il soil carbon come rimozione potenzialmente temporanea: richiede una categorizzazione esplicita "temporary storage" (10-20 anni per il Carbon Farming vs. 30-50 anni per l'agroforestazione, con buffer differenziati) |

| Criterio QUALITY | Requisito CRCF | Cosa copre già VM0042 | Gap da colmare |
|---|---|---|---|
| **I – Information & MRV** | MRV indipendente, tracciabilità, audit, open data, serializzazione | Audit VVB annuale; dati annuali colture; sampling periodico | Piena trasparenza sui dati di modello; registro interoperabile; meccanismo anti-double counting; compliance con Corresponding Adjustments se destinato all'Art.6 |
| **T – Trade & Registry** | Registri sicuri, serializzazione unica, prevenzione della doppia emissione | Registro Verra; seriali VCU univoci | Integrazione con i registri pubblici (CREA, registro EC); corresponding adjustment; mapping 1:1 dei seriali verso il futuro registro UE |
| **Y – Young market safeguards / Sustainability (DNSH)** | Prevenzione frodi, governance solida, audit di terze parti, parità informativa, "Do No Significant Harm" su acqua, biodiversità, suolo, benessere animale, fertilizzanti, fitofarmaci | Governance VCS; auditing VVB | Manca un modulo DNSH rigoroso: limiti massimi di input azotato per ettaro, mantenimento di una cover vegetale minima, criteri di riduzione dei fitofarmaci, indicatori di biodiversità (siepi, insetti, avifauna), salvaguardie sulla risorsa idrica |

Per essere anche **Art.6-ready**, un credito deve in aggiunta: avere un MRV rigoroso (ottenuto integrando VM0042 con l'MRV-grade CRCF); essere registrato in un registro riconoscibile dallo Stato, con interoperabilità tra registro VCS (privato), registro CREA (pubblico) e futuro registro EC; consentire il rilascio di ITMO, il che richiede una

Letter of Authorization del Governo italiano, un Corresponding Adjustment tramite l'inventario NDC e la notifica all'UNFCCC — un processo che dipende dal MASE e che un developer può supportare ma non attivare autonomamente; distinguere chiaramente la tipologia di credito prodotto: Mitigation Contribution Units (MCU), ITMO, oppure VCU addizionali non regolate.

> **Attenzione** — L'allineamento ad Art.6 non è un obiettivo automatico né immediato per un progetto Carbon Farming italiano: dipende da un'autorizzazione governativa (MASE) che oggi non è uno standard di processo consolidato. Va presentato al cliente come "opzione strategica futura", non come requisito di partenza.

## 5.5 Cosa serve per essere "VM0042 – CRCF – Art.6 READY" e cosa si ottiene

Lo schema operativo per un developer che voglia colmare i gap descritti prevede l'aggiunta di quattro moduli sopra la base VM0042: un modulo di **quantificazione potenziata** (uncertainty factor, reporting pubblico dei parametri, calibrazione locale con campioni italiani, aggiornamento annuale via satelliti Sentinel e AI); un **EU Additionality Annex** (lista delle pratiche non obbligatorie per normativa italiana/UE, dataset CREA-ISTAT come prova di common practice, dichiarazione integrata nelle convenzioni con le aziende aderenti al PoA); una **classificazione dei crediti per durata** (Carbon Farming a rimozione temporanea 10-20 anni vs. agroforestazione a rimozione di lungo termine 30-50 anni, con buffer differenziati); un **MRV "CRCF-grade"** (database PoA centralizzato, QR code/certificate ID su ogni credito, feed al registro nazionale CREA, layer di interoperabilità con flag ITMO per l'Art.6); un **sistema di doppia registrazione** (Verra/VCS come registrazione primaria per la liquidità globale, Registro Italiano CREA come registrazione secondaria per il valore istituzionale e la vendita domestica, con mapping 1:1 dei seriali verso il futuro registro UE); e una **DNSH Checklist UE** (limiti di input azotato, cover vegetale minima, riduzione fitofarmaci, indicatori di biodiversità, salvaguardie idriche), supportata da un codice etico di progetto, una piattaforma dati aperti, un registro dei contratti con gli

agricoltori e un comitato tecnico-scientifico di supervisione indipendente.

Cosa si ottiene con questo allineamento completo: crediti di alta integrità già riconosciuti CCP-approved; compatibilità nativa con il CRCF europeo — un mercato oggi nascente ma destinato a diventare dominante; integrabilità diretta nel Registro Italiano CREA quando la sezione agricola sarà pienamente operativa; potenziale riconoscibilità futura ai fini dell'Articolo 6; utilizzabilità da parte di corporate SBTi per la neutralità residua; e, non ultimo, un posizionamento distintivo per un developer italiano come soggetto "di nuova generazione" — nessun operatore nazionale sta oggi applicando VM0042 con un PoA di scala nel Paese.

## 5.6 L'Atto Delegato sul Carbon Farming: cosa è cambiato con l'adozione

Nei mesi successivi alle prime linee guida CREA, il quadro tecnico del CRCF europeo si è completato. Il Regolamento di riferimento resta il (UE) 2024/3012, pubblicato nel novembre 2024; a esso si è affiancato il Regolamento di Esecuzione (UE) 2025/2358 (novembre 2025), che formalizza le procedure che gli enti di certificazione devono seguire per verificare la conformità ai criteri QUALITY. Sul fronte delle metodologie, dopo l'Atto Delegato sulle rimozioni permanenti (DACCS, biochar) adottato a febbraio 2026, il 9 luglio 2026 la Commissione ha adottato il Regolamento Delegato C(2026) 4666, dedicato specificamente alle attività di Carbon Farming: è il testo che rende operativa la metodologia di certificazione per l'agricoltura e l'agroforestazione. Il Registro UE del Carbonio resta in sviluppo tecnico, con piena operatività attesa per il 2028; nel frattempo la Commissione riconosce come soluzione transitoria gli schemi privati di certificazione conformi ("Certification Schemes"). A questo Atto Delegato è dedicato per intero il Capitolo 6: qui ci limitiamo ai punti che correggono e precisano il quadro descritto finora.

**I quattro approcci di quantificazione.** L'Atto Delegato non organizza l'MRV in "Tier" ma in quattro approcci, che l'operatore sceglie termine per termine (carbonio nel suolo, biomassa, $N_2O$, calcitazione, combustibili) e mantiene coerenti per tutto il periodo di monitoraggio:

- **Approccio 1 — Modelli.** Modelli process-based (biogeochimici, come RothC o DNDC) o statistici/di machine learning, validati dalla Commissione secondo criteri di trasparenza, credibilità scientifica, idoneità e accuratezza minima; per il carbonio del suolo vanno inizializzati e verificati con dati misurati.
- **Approccio 2 — Misure dirette.** Campionamento diretto del carbonio organico del suolo ed equazioni allometriche o fattori di espansione della biomassa (BEF) per la biomassa arborea.
- **Approccio 3 e 4 — Proxy e fattori di emissione di default.** Proxy per i suoli organici e fattori di emissione standard (IPCC) per $N_2O$, calcitazione/urea e combustione dei carburanti: meno onerosi ma meno precisi. È qui che i livelli di accuratezza IPCC (Tier 1/2/3) trovano il loro posto corretto — come qualità del dato di partenza, non come architettura del sistema.

**Quando un terreno è ammesso all'afforestazione.** L'Atto Delegato fissa criteri di ammissibilità precisi per l'afforestazione: superficie minima di 0,5 ettari; terreno che nei 20 anni precedenti non era già bosco (copertura di chioma di alberi sparsi inferiore al 10% dell'area); composizione di specie coerente con le condizioni naturali locali, di norma mista. Restano validi, come cornice generale, i parametri FAO che definiscono una "foresta" (altezza a maturità superiore a 5 metri, chioma oltre il 10%, almeno 0,5 ettari), ma è ai criteri dell'Atto Delegato che va ricondotta l'ammissibilità di un progetto.

**Baseline activity-specific, non ancora regionale.** Il Regolamento prevede baseline standardizzate a scala regionale (Art. 4(9)), ma i dati necessari — sviluppati da progetti Horizon Europe come "A Soil Deal for Europe" — non sono ancora disponibili. Fino ad allora si applica una baseline activity-specific, che rappresenta la continuazione delle pratiche in atto prima dell'attività, calcolata su un periodo di riferimento di almeno tre anni. Per mantenere alta l'ambizione, la baseline delle emissioni di $N_2O$ da suoli agricoli è soggetta a un aggiustamento al ribasso dell'1% per ogni anno trascorso dall'inizio dell'attività.

**Le tre attività certificabili.** L'Atto Delegato non ragiona per "macro-categorie" generiche ma definisce tre attività, ciascuna con una propria

metodologia: (1) agricoltura e agroforestazione su suoli minerali — la più rilevante per l'Italia; (2) riumidificazione e ripristino di torbiere e altri suoli organici — rilevante soprattutto per le aree umide del Nord, in particolare in Pianura Padana; (3) afforestazione. Le prime due possono generare sia rimozioni sia riduzioni di emissioni; l'afforestazione genera rimozioni nella biomassa vivente.

> **Approfondimento tecnico —** Le durate sono molto diverse per attività. Per le pratiche agricole su suoli minerali l'activity period è di 5 anni, rinnovabile fino a tre volte (massimo 20 anni); per l'agroforestazione è di 15 anni, rinnovabile una volta (massimo 30). La riumidificazione delle torbiere dura almeno 10 anni e fino a 30 (o fino al "peat depletion time" dell'area). L'afforestazione ha un unico periodo di 35 anni, non rinnovabile, con un periodo di monitoraggio di almeno 40 anni. Il "minimo di 5 anni per le foreste" che circolava nelle bozze non è ciò che l'Atto Delegato ha stabilito.

**Rischio di reversal: buffer pool o assicurazione, a scelta.** Il reversal — il rilascio, intenzionale o accidentale, di $CO_2$ già sequestrata (un incendio, un'aratura profonda dopo anni di sodo, il drenaggio di una torbiera ripristinata) — è gestito con un meccanismo di liability a copertura dei crediti già venduti. L'operatore sceglie tra due strade: partecipare a un buffer pool gestito dallo schema di certificazione, oppure dotarsi di una polizza assicurativa o garanzia equivalente. Nel buffer pool la quota accantonata non è un forfait del 20%, ma è pari almeno al risk rate che emerge dalla valutazione del rischio dell'attività (tipicamente 2-10% per i suoli agricoli, in funzione di "hazard" e vulnerabilità del suolo). I reversal evitabili restano interamente a carico dell'operatore, che deve reintegrare i crediti. Le riduzioni di emissione da riumidificazione o da migliore uso dei fertilizzanti sono invece considerate irreversibili e non richiedono liability.

**Prezzo di mercato.** Le stime disponibili collocano le future "CRCF Units" del Carbon Farming su valori superiori a quelli del mercato volontario non certificato — indicativamente tra 50 e 90 €/t$CO_2$ — grazie allo standard unico riconosciuto a livello europeo. Il contraltare resta il costo dell'MRV (analisi del suolo, rilievi, audit), che può erodere

il margine dell'agricoltore, e la burocrazia, che penalizza le piccole aziende frammentate: è la ragione per cui l'aggregazione, di cui si parla nei paragrafi successivi, è la vera condizione di accesso al sistema.

**Il modello "Carbon Hub" regionale come unica via di accesso per le piccole aziende.** Un'azienda singola di 20 ettari non ha la forza economica per sostenere da sola i costi di audit, campionamento e monitoraggio satellitare richiesti dal CRCF. La soluzione strutturale identificata è l'aggregazione, su due livelli complementari: consorzi e associazioni di categoria come aggregatori, che dividono i costi di audit e monitoraggio tra più aziende aderenti; e **Carbon Hub regionali**, strutture dedicate all'assistenza tecnica, alla raccolta dati georeferenziati e alla vendita collettiva dei crediti sul mercato. È lo stesso principio economico di scala già descritto per i PoA VM0042 (§5.2), qui reso esplicito come condizione di accesso al sistema CRCF.

**La call pubblica di aprile 2026.** Ad aprile 2026 la Commissione ha aperto la chiamata pubblica per il riconoscimento ufficiale degli schemi privati di certificazione ("Certification Schemes") come soluzione transitoria in attesa della piena operatività del Registro UE (2028). È la finestra attraverso cui un soggetto italiano — un consorzio, un'associazione di categoria, un Carbon Hub regionale — può candidarsi come schema di certificazione riconosciuto, anticipando l'infrastruttura pubblica ancora in costruzione.

> **Per il tecnico** — Le azioni operative indicate per chi opera oggi sul terreno: per tecnici e carbon manager, formarsi sul campionamento "hybrid" (modelli + campioni fisici) e investire nella certificazione professionale su GIS e modellistica biogeochimica; per gli agricoltori, avviare da subito la digitalizzazione aziendale con un quaderno di campagna georeferenziato — senza dati storici digitali la baseline non è validabile e il progetto non è certificabile; per le associazioni di categoria, costituire Carbon Hub regionali e valutare la candidatura come Certification Scheme nella call di aprile 2026; per tutti, verificare se i terreni ricadono in zone classificate "High Carbon Stock", dove il potenziale di guadagno è massimo e la baseline più favorevole.

## 5.7 Il buffer per categoria di rischio: la tabella ufficiale delle Linee guida CREA

Le Linee guida ministeriali italiane per il Registro CREA — sezione forestale, Appendice 1 "Analisi del Rischio di Progetto" — impongono al progettista un compito preciso: identificare i rischi per la permanenza del progetto in ciascuna delle categorie previste, descrivere le azioni di mitigazione, quantificare il livello di rischio come percentuale (buffer) di assorbimenti di carbonio potenzialmente perduti o compromessi, verificare che il livello complessivo — somma dei valori percentuali di ciascuna categoria — rientri nel range aggregato previsto, e documentare le evidenze (articoli scientifici, rapporti tecnici, rilievi in campo, progetti precedenti in condizioni analoghe) a supporto dei livelli di rischio stimati.

La Tabella A1 definisce gli otto ambiti di rischio e i relativi range minimi e massimi:

| Categoria di rischio | Livello minimo | Livello massimo |
|---|---|---|
| Rischio legale/sociale | 1% | 2% |
| Gestione del Progetto | 1% | 3% |
| Rischio finanziario | 1% | 5% |
| Vulnerabilità agli incendi | 2% | 4% |
| Vulnerabilità ad attacchi parassitari | 3% | 10% |
| Vulnerabilità climatica | 3% | 6% |
| Effetti diretti del cambiamento climatico | 3% | 10% |
| Incertezza statistica | 1% | 5% |
| **Buffer generale di rischio (somma, % del sequestro di carbonio)** | **15% (min)** | **40% (max)** |

> **Per il tecnico** — Questa tabella è lo strumento di lavoro concreto per l'analisi del rischio di un progetto forestale destinato al Registro CREA: ogni categoria va valutata singolarmente con evidenze a supporto, e la somma dei livelli selezionati deve cadere nel range 15-40% del sequestro complessivo stimato. Un buffer sottostimato

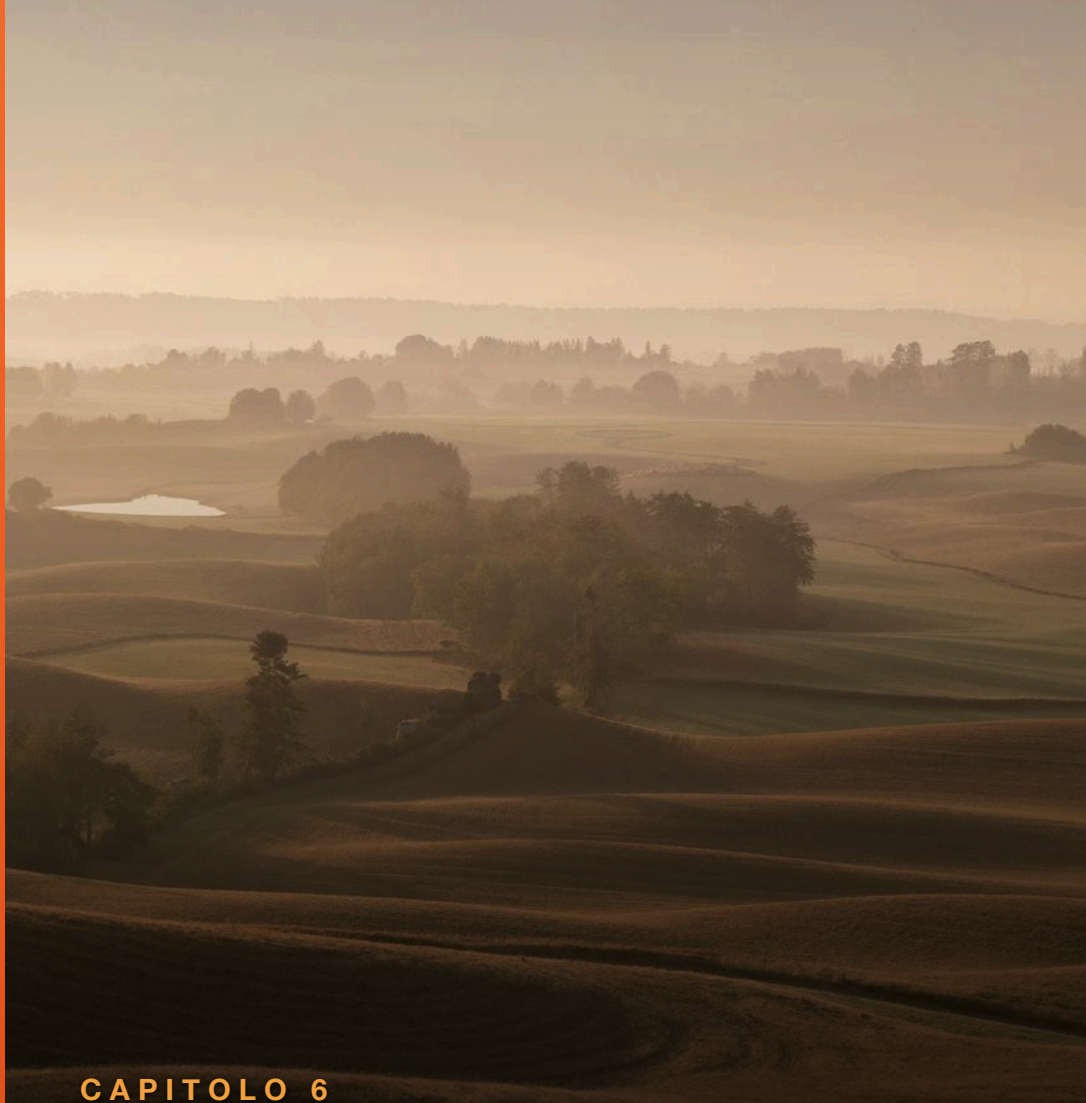
(vicino al 15% senza adeguate evidenze) espone il progetto a rilievi in fase di verifica; un buffer sovrastimato riduce inutilmente i crediti commercializzabili. La calibrazione va sempre documentata con fonti verificabili — mai stimata "a sensazione".

## 5.8 Il leakage: quando il beneficio climatico si sposta altrove

Il leakage (rilocalizzazione delle emissioni) è la quota di beneficio climatico che il progetto genera al proprio interno ma che provoca, come effetto indiretto, un aumento di emissioni al di fuori del perimetro. Se non stimato e dedotto, gonfia il beneficio netto e rende il credito contestabile. Gli standard di mercato (a partire da VM0042) ne impongono la stima e la deduzione; il quadro CRCF lo affronta attraverso il principio di beneficio netto e i confini di sistema.

- Leakage per spostamento di attività (activity-shifting). La pratica che genera il credito riduce la produzione sull'area di progetto (ad esempio la conversione di seminativo a prato permanente), e la produzione persa viene semplicemente ricollocata su altri terreni, con le relative emissioni. È il caso più frequente in agricoltura.
- Leakage di mercato (market leakage). La riduzione di offerta di un bene sposta i prezzi e induce, altrove, un aumento di produzione e di emissioni. Più difficile da quantificare, va almeno discusso qualitativamente.

In pratica: si definisce con precisione il perimetro; si verifica se l'attività riduce la produzione dell'area; in caso affermativo si stima la quota di produzione rilocalizzata e le emissioni associate, deducendole dal beneficio lordo. Un progetto che aumenta le rimozioni senza ridurre la produzione (ad esempio cover crop o gestione dei residui su terreni che restano coltivati) ha un leakage tendenzialmente nullo — ed è per questo, oltre che per l'addizionalità, un profilo di progetto preferibile.



CAPITOLO 6

# L’Atto Delegato CRCF sul Carbon Farming

Guida operativa alla metodologia adottata

*La regola europea che trasforma il principio in metodo.*

Il 9 luglio 2026 la Commissione europea ha adottato il Regolamento Delegato C(2026) 4666, che stabilisce le metodologie di certificazione per le attività di Carbon Farming previste dal Regolamento CRCF (UE) 2024/3012. È il passaggio che trasforma il CRCF da cornice di principi — il criterio QUALITY descritto nel Volume 1 e richiamato nel Capitolo 5 — a metodologia operativa: dice, attività per attività, che cosa è certificabile, come si calcola il beneficio climatico, come si dimostra l'addizionalità, come si gestisce il rischio. Questo capitolo ne è la guida di lettura per il tecnico; non sostituisce il testo ufficiale, ma ne isola ciò che serve per impostare un progetto senza perdere tempo.

## 6.1 Dal Regolamento all'Atto Delegato

**Due testi, due funzioni.** Il Regolamento (UE) 2024/3012 istituisce il quadro di certificazione europeo e ne fissa i criteri di qualità (quantificazione, addizionalità, stoccaggio di lungo periodo, sostenibilità). L'Atto Delegato C(2026) 4666 lo integra fornendo le metodologie vere e proprie. A esso si affianca il Regolamento di Esecuzione (UE) 2025/2358, che disciplina schemi di certificazione, organismi di certificazione e audit. Il Regolamento Delegato entra in vigore il ventesimo giorno dopo la pubblicazione nella Gazzetta ufficiale dell'Unione ed è vincolante e direttamente applicabile in tutti gli Stati membri: non richiede recepimento nazionale.

**Cosa copre.** L'Atto Delegato stabilisce le metodologie per tre tipi di attività, scelti perché la maturità scientifica consente oggi una certificazione robusta: agricoltura e agroforestazione su suoli minerali; riumidificazione e ripristino di torbiere e altri suoli organici; afforestazione. Sono le tre metodologie descritte nei paragrafi seguenti.

## 6.2 Le tre attività certificabili

La distinzione tra le tre attività non è formale: cambiano pratiche ammesse, durate, modo di calcolare la baseline e regime di responsabilità. Impostare un progetto significa prima di tutto collocarlo in una di queste tre metodologie.

**Agricoltura e agroforestazione su suoli minerali.** È la più rilevante per l'Italia. Ammette un elenco non esaustivo di pratiche raggruppate in tre famiglie: pratiche agricole che aumentano le rimozioni nel suolo o ne riducono le emissioni di $CO_2$ (cover crop, rotazioni, ritenzione dei residui, lavorazione conservativa, conversione di seminativo a prato, gestione migliorata dei prati, uso di ammendanti o fertilizzanti organici); pratiche agroforestali che aumentano il carbonio nella biomassa legnosa (filari dentro le parcelle, siepi tra le parcelle, nuove colture legnose perenni); pratiche che riducono le emissioni di $N_2O$ (fertilizzazione di precisione, leguminose al posto dell'azoto minerale, inibitori della nitrificazione). Più pratiche possono essere combinate sulla stessa area; le pratiche sull'$N_2O$ sono ammesse solo se complementari alle prime due e la lavorazione conservativa solo se abbinata a pratiche che aumentano l'apporto di carbonio. Il biochar è ammesso solo se la quota permanente del suo carbonio è esclusa dal calcolo del carbonio del suolo (rientra nelle rimozioni permanenti).

**Riumidificazione e ripristino di torbiere e suoli organici.** Consiste nell'innalzare il livello della falda in suoli organici e torbiere — bloccando o rimuovendo i sistemi di drenaggio, riducendo l'estrazione d'acqua — eventualmente combinata con il ripristino della vegetazione di torbiera o con la paludicoltura. È rilevante soprattutto per le aree umide del Nord, in particolare in Pianura Padana. Genera riduzioni di emissioni, considerate irreversibili.

**Afforestazione.** Riguarda l'imboschimento di prati, seminativi o terreni che nei 20 anni precedenti non erano bosco (copertura di chioma degli alberi sparsi inferiore al 10%). Richiede una superficie minima di 0,5 ettari, una composizione di specie coerente con le condizioni naturali locali (di norma mista; specie autoctone salvo dimostrata inadeguatezza climatica futura) e densità d'impianto conformi alle regole dello Stato membro. Genera rimozioni nella biomassa vivente.

> **Attenzione — Le date-soglia del 1º gennaio 2023.** Diversi criteri di ammissibilità escludono i terreni manomessi dopo quella data: non è ammessa l'attività dove la falda è stata abbassata con nuovi drenaggi dopo il 1º gennaio 2023, né dove prati permanenti sono stati convertiti a seminativo, né

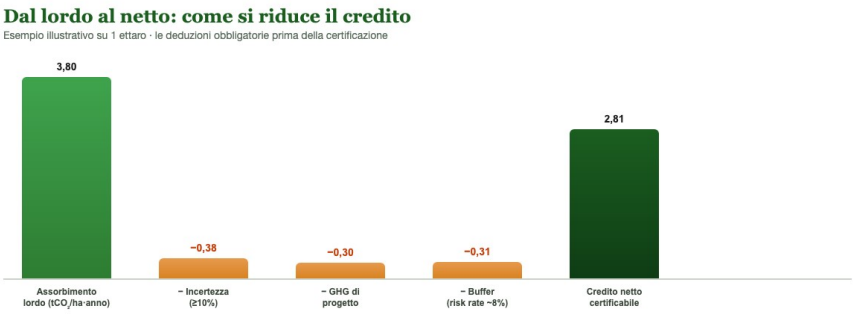
dove sistemi agroforestali esistenti sono stati rimossi (salvo incendi, fitopatie, schianti da vento). L'attività non deve inoltre comportare la rimozione di alberi o elementi legnosi esistenti. Verificare la storia recente del terreno è quindi il primo controllo di ammissibilità.

## 6.3 Durate: activity period e monitoring period

L'Atto Delegato distingue il periodo di attività (l'impegno a realizzare le pratiche) dal periodo di monitoraggio (l'obbligo di sorvegliare la permanenza del carbonio, di norma più lungo). Le durate cambiano radicalmente per attività, come sintetizzato nella tabella.

| Attività | Periodo di attività | Periodo di monitoraggio | Rinnovo |
|---|---|---|---|
| Pratiche agricole su suoli minerali (colture, suolo, $N_2O$) | 5 anni | Fino a 5 anni oltre l'attività (rimozioni) o pari all'attività (riduzioni) | Rinnovabile fino a 3 volte — max 20 anni |
| Agroforestazione (biomassa legnosa) | 15 anni | 5 anni oltre l'attività | Rinnovabile 1 volta — max 30 anni |
| Riumidificazione torbiere / suoli organici | 10–30 anni (o "peat depletion time" dell'area) | Pari all'attività | Rinnovabile entro la durata massima |
| Afforestazione | 35 anni | Almeno 40 anni | Non rinnovabile |

**Il picco di metano nelle torbiere.** Nei primi cinque anni di riumidificazione, se non è plausibile l'assenza di un picco di emissioni di metano (in base a vegetazione e livello di falda monitorati), vanno dedotte 10 tonnellate di $CO_2$ equivalente per ettaro all'anno dal beneficio netto. È una prudenza che va messa a bilancio fin dalla stima iniziale.




## 6.4 Baseline e quantificazione del beneficio netto

**La baseline è activity-specific.** In assenza delle baseline regionali standardizzate previste dall'Art. 4(9) — i cui dati, sviluppati da progetti Horizon Europe come "A Soil Deal for Europe", non sono ancora disponibili — si applica una baseline specifica dell'attività: rappresenta la continuazione delle pratiche di gestione in atto prima dell'attività, calcolata su un periodo di riferimento di almeno tre anni immediatamente precedenti (esteso alla durata del ciclo colturale dove pertinente). Per la biomassa vivente la baseline è pari a zero: si conta solo la crescita del nuovo impianto, non quella degli alberi già presenti.

**Come si calcola il beneficio.** Il beneficio netto è la differenza tra lo scenario baseline e lo scenario di progetto — per le rimozioni di carbonio, per le emissioni dei suoli LULUCF e per le emissioni agricole di $N_2O$ — al netto di due correzioni: un fattore di deduzione per l'incertezza, pari ad almeno il 10%, sottratto per ottenere una stima conservativa (in linea con gli standard del meccanismo dell'Articolo 6); e le emissioni associate all'attività (combustibili, calcitazione/urea, eventuale aumento di $N_2O$), che vengono sottratte. Le variazioni si calcolano separatamente per ciascuno strato omogeneo di terreno e si sommano sull'intera area.

**L'ambizione cresce nel tempo.** Per le pratiche di riduzione dell'$N_2O$, la baseline delle emissioni agricole è soggetta a un aggiustamento al ribasso pari all'1% della baseline iniziale per ogni anno trascorso

dall'avvio dell'attività: il metro con cui si misura il beneficio si fa progressivamente più severo.

> **Per il tecnico —** Se in un periodo di certificazione il beneficio netto risulta negativo nonostante un aumento delle rimozioni o una riduzione delle emissioni, quel valore negativo non si perde: viene registrato come "deficit di crediti" e sottratto nel periodo successivo. Va tenuto presente nella pianificazione economica pluriennale.

## 6.5 I quattro approcci di quantificazione e monitoraggio

Per quantificare e monitorare ogni componente del beneficio, l'Atto Delegato ammette quattro approcci. L'operatore ne sceglie uno per ciascun termine (carbonio del suolo, biomassa, $N_2O$, ecc.) e lo mantiene coerente per tutto il periodo di monitoraggio, usando lo stesso approccio per lo scenario di progetto e per la baseline.

**Approccio 1 — Modelli.** Modelli process-based (biogeochimici, come RothC, Century, DNDC) oppure statistici e di machine learning. Il modello deve essere tra quelli riconosciuti conformi dalla Commissione secondo quattro criteri: trasparenza e tracciabilità delle versioni; credibilità scientifica (validazione in letteratura peer-reviewed per condizioni pedo-climatiche comparabili); idoneità (calibrazione e validazione su misure indipendenti); accuratezza minima (bias, intervalli di previsione, $R^2$ positivo). Per il carbonio del suolo il modello va inizializzato e verificato con dati di suolo misurati; per la biomassa da telerilevamento la risoluzione minima è di 10 metri.

**Approccio 2 — Misure dirette.** Campionamento diretto del carbonio organico del suolo; equazioni allometriche, fattori di espansione della biomassa (BEF/BCEF) selezionati per specie secondo una gerarchia tassonomica; oppure sensori prossimali di campo.

**Approccio 3 — Proxy.** Indicatori indiretti, ammessi in particolare per il carbonio dei suoli organici.

**Approccio 4 — Fattori di emissione di default.** Fattori standard (IPCC) per le emissioni di $N_2O$, per la calcitazione e l'urea e per la combustione dei carburanti. È in questo approccio — e solo qui — che i

livelli di accuratezza IPCC (Tier 1/2/3) hanno un senso: come qualità del dato di partenza, non come architettura complessiva del sistema di monitoraggio.

## 6.6 Addizionalità: i tre test

Un'attività è certificabile solo se supera i test di addizionalità: deve dimostrare che il beneficio climatico non sarebbe avvenuto comunque. I test sono tre.

**Test regolatorio.** Il beneficio non deve derivare da un obbligo di legge (europeo, nazionale o regionale) che imponga già l'attività su quell'area. Se un obbligo esiste, sono certificabili solo le rimozioni o riduzioni aggiuntive rispetto a quanto richiesto.

**Test dell'effetto incentivante.** La certificazione deve indurre un cambiamento: l'attività non deve essere già iniziata al momento della domanda allo schema di certificazione. "Inizio dei lavori" significa il primo impegno irreversibile (ordine di attrezzature, contratti di servizio); permessi e studi di fattibilità non contano come inizio.

> **Agire subito — La deroga per gli "early mover".** Il test dell'effetto incentivante si considera automaticamente soddisfatto per chi ha avviato l'attività tra il 1º gennaio 2023 e il 31 dicembre 2027, anche se l'attività era già iniziata prima della domanda di certificazione (in questo caso il periodo di riferimento della baseline è quello dei tre anni precedenti l'inizio dei lavori, e possono rientrare alberi e vegetazione piantati in quella finestra). Una deroga analoga vale per chi ha avviato l'attività sotto uno schema poi riconosciuto ai sensi del Regolamento di Esecuzione 2025/2358. È il motivo concreto per non rimandare: avviare formalmente l'attività entro il 2027 mette al riparo dal test più insidioso dell'addizionalità.

**Test di sostenibilità finanziaria.** Va dimostrato che, senza i ricavi della certificazione, l'attività non sarebbe finanziariamente conveniente. Si usa, in alternativa, il "simple cost test" (quando l'attività non genera altri ricavi o risparmi oltre alla certificazione) o

l'"investment comparison test", che confronta il valore attuale netto (NPV) dell'attività con uno scenario alternativo, usando un tasso di sconto del 3,5%. Entrambi vanno condotti in modo conservativo, documentando costi (CAPEX, OPEX, costi-opportunità), ricavi ed eventuali fondi pubblici.

## 6.7 Stoccaggio, rischio e liability

**La valutazione del rischio.** Prima dell'avvio, l'operatore valuta il rischio di reversal — il rilascio del carbonio stoccato — e lo aggiorna ogni cinque anni e dopo ogni evento non evitabile. I reversal si classificano in evitabili (cattiva gestione, azioni volontarie o illegali dell'operatore, cessazione anticipata dell'attività) e non evitabili (eventi naturali estremi, incendi, guerra, cambi normativi). Il "risk rate" contabilizza solo gli eventi non evitabili.

**Il risk rate per l'agricoltura su suoli minerali.** Si determina combinando due indicatori: l'hazard (basso se il carbonio del suolo negli ultimi 10 anni è aumentato o stabile, alto se è diminuito) e la vulnerabilità (misurata dalla saturazione in carbonio del suolo: bassa sotto il 68%, alta pari o superiore al 68%). La combinazione dà la quota di carbonio a rischio.

| | Hazard basso | Hazard alto |
|---|---|---|
| Vulnerabilità bassa (< 68%) | 2% | 6% |
| Vulnerabilità alta (≥ 68%) | 4% | 10% |

**Correzioni e afforestazione.** Il risk rate va moltiplicato per 1,25 se l'area è soggetta a rischio di alluvione o a elevata suscettibilità da frana, per 1,5 se soggetta a entrambi; può essere ridotto (fattore 0,8–1) con pratiche di mitigazione aggiuntive. Per afforestazione e agroforestazione, la valutazione si concentra sull'idoneità delle specie alle condizioni climatiche attuali e future, con un risk rate basato sui dataset messi a disposizione dalla Commissione.

**I meccanismi di liability.** Per le attività che generano rimozioni temporanee, i crediti già venduti devono essere coperti da un meccanismo di responsabilità: a scelta, la partecipazione a un buffer pool gestito dallo schema di certificazione, oppure una polizza assicurativa o garanzia equivalente. Nel buffer pool la quota accantonata è pari almeno al risk rate della valutazione (non un forfait fisso). I reversal evitabili restano interamente a carico dell'operatore, che deve reintegrare i crediti. Le riduzioni di emissione da riumidificazione o da migliore uso dei fertilizzanti sono considerate irreversibili e non richiedono alcun meccanismo di liability, ma solo pratiche di resilienza dove opportuno.

## 6.8 Sostenibilità e co-benefici

**Requisiti minimi e co-benefici obbligatori.** Oltre a quantificare il carbonio, l'attività deve rispettare requisiti minimi di sostenibilità e generare co-benefici per la protezione e il ripristino della biodiversità e degli ecosistemi, inclusa la salute del suolo e l'assenza di degrado del territorio. Per dimostrarlo, l'operatore sceglie da un elenco di approcci qualitativi coerenti con la normativa UE sul ripristino della natura.

**La leva del premio di mercato.** L'operatore può inoltre dimostrare ulteriori co-benefici di sostenibilità con approcci "action-based" o "result-based": è la via per accedere a un potenziale premio di prezzo sui crediti certificati, e va considerata parte della strategia commerciale del progetto, non un adempimento accessorio.

## 6.9 Activity plan e monitoring plan: i contenuti minimi

Il progetto prende forma in due documenti che l'Atto Delegato definisce nei contenuti minimi. Predisporli correttamente è il primo lavoro operativo del tecnico — spesso prima ancora di generare un solo credito.

**L'activity plan deve contenere:** informazioni generali (titolarità e contatti, confini georeferenziati dell'area con codici LPIS dove applicabili, durata e data di inizio); prova dell'ammissibilità (descrizione delle pratiche previste ed evidenza dell'uso precedente

del suolo); la quantificazione (baseline stimata e rimozioni/emissioni attese, con le assunzioni); i tre test di addizionalità; la parte su stoccaggio e responsabilità (valutazione dei rischi di reversal, pratiche di mitigazione, meccanismo di liability scelto); la parte di sostenibilità (requisiti minimi e co-benefici); e il piano di monitoraggio.

**Il monitoring plan** descrive in dettaglio come si monitorano i pool di carbonio e le fonti di emissione, con l'approccio scelto per ciascuno e la frequenza. Il monitoring report va presentato prima di ogni audit e comunque almeno ogni cinque anni, ed entro un anno da qualunque evento che comporti un reversal, documentando l'accaduto, localizzandolo e quantificandolo in modo conservativo.

## 6.10 Come si incastra: CRCF, Registro CREA e Articolo 6

**Schemi privati oggi, registro UE domani.** Finché il Registro UE del Carbonio non sarà pienamente operativo (2028), la certificazione passa dagli schemi di certificazione privati riconosciuti dalla Commissione ai sensi del Regolamento di Esecuzione 2025/2358. Candidarsi o aderire a uno schema riconosciuto è, oggi, la via d'accesso concreta al CRCF.

**Il canale nazionale: il Registro CREA.** In Italia il registro pubblico dei crediti di carbonio è gestito dal CREA, istituito con decreto del MASAF di concerto con il MASE. Ne va ricordato il perimetro: crediti del mercato volontario, non utilizzabili nei sistemi EU ETS e CORSIA, generati da pratiche aggiuntive di gestione sostenibile. Per un progetto italiano, ragionare fin dall'inizio sull'interoperabilità tra schema privato riconosciuto, registro nazionale CREA e futuro registro europeo evita di dover rifare il lavoro a valle.

**Articolo 6: un orizzonte, non un punto di partenza.** Rendere un credito "Art.6-ready", e quindi trasferibile come ITMO, richiede una Lettera di Autorizzazione del Governo, un Corresponding Adjustment nell'inventario nazionale e la notifica all'UNFCCC: un processo che dipende dal MASE e che un developer può supportare ma non attivare da solo. Va presentato al cliente come opzione strategica futura, non come requisito iniziale.

La revisione dell'EU ETS del luglio 2026: perché il Carbon Farming resta volontario. Il 17 luglio 2026 la Commissione ha presentato la proposta di revisione della Direttiva EU ETS (COM(2026) 616), che allinea il sistema al target −90% al 2040 e — per la prima volta — apre il mercato regolato del carbonio alle rimozioni. La regola è netta e va conosciuta da chiunque venda crediti agricoli o forestali: nell'EU ETS entrano soltanto le rimozioni permanenti — cattura e stoccaggio geologico di $CO_2$ biogenica (BioCCS) e direct air capture (DACCS) — acquistate dalla Commissione tramite una facility pubblica dal 2031 al 2040 (nuovo Art. 9c) e certificate secondo il CRCF. Il Carbon Farming e le soluzioni nature-based — il suolo, l'agroforestazione, il bambù — restano fuori dall'EU ETS: sono e restano crediti del mercato volontario. La stessa proposta incarica però la Commissione di valutare, in un rapporto entro il 31 dicembre 2034 (Art. 9c(8)), il possibile contributo futuro delle soluzioni nature-based e del carbon farming alle rimozioni permanenti. Per il developer questo significa due cose insieme: primo, non promettere mai che un credito agricolo o forestale sia spendibile in EU ETS o CORSIA, perché non lo è; secondo, che la porta verso il mercato regolato non è chiusa per sempre — ha una data, il 2034, e una condizione, la dimostrazione della permanenza dello stoccaggio.

> **Per il tecnico — Cosa fare adesso.** Digitalizzare da subito la gestione aziendale con un quaderno di campagna georeferenziato: senza dati storici la baseline non è validabile. Ricostruire i tre anni di riferimento e verificare le date-soglia del 1º gennaio 2023. Scegliere l'attività giusta tra le tre metodologie e lo schema di certificazione riconosciuto. Impostare activity plan e monitoring plan. E, dove possibile, avviare formalmente l'attività entro il 2027 per rientrare nella deroga early mover.



CAPITOLO 7

# Agroforestazione professionale

Tipologie, specie, quantificazione, casi studio

*Alberi e colture insieme: il carbonio che cresce.*

L'agroforestazione è la pratica che integra sistematicamente alberi, colture e/o pascoli nello stesso appezzamento. Per un progetto di carbon farming a livello professionale non si tratta di una scelta paesaggistica, ma di una decisione tecnica con ricadute dirette su sequestro di carbonio, resilienza climatica dell'azienda e accesso ai mercati dei removal credits di qualità. In Europa e in Italia il tema è tornato centrale per la convergenza di più fattori: le pressioni climatiche (stress idrico, ondate di calore), la necessità di diversificare le colture, la domanda crescente di removal credits ad alta integrità e l'allineamento con le nuove politiche PAC (ecoschemi e PSR) e con gli standard carbon internazionali (CRCF, VM0042, Label Bas-Carbone).

## 7.1 Tipologie di sistemi agroforestali

La scelta del sistema dipende da pedoclima, ordinamento colturale preesistente e obiettivi aziendali. I quattro modelli di riferimento per il contesto italiano sono:

**Alley-cropping.** È il sistema più moderno e replicabile, particolarmente adatto al Nord Italia: filari arborei disposti ogni 8-40 metri, con interfilari coltivati a cereali, soia, erba medica, ortive o cover crop. Le specie tipiche sono noce, pioppo, gelso, querce, mandorlo e, nei contesti adeguati, bambù gigante. I vantaggi principali sono un sequestro di carbonio consistente, l'effetto windbreak con riduzione del vento, una maggiore stabilità produttiva e minore erosione.

**Silvopascolo.** Sistema tradizionale mediterraneo oggi rivalutato per le sue prestazioni climatiche: alberi sparsi o disposti a filari, integrati con pascolo ovino, caprino o bovino. Le radici profonde delle essenze arboree generano un forte accumulo di sostanza organica del suolo (SOC). I benefici includono un miglior benessere animale, la riduzione dell'impatto delle ondate di calore, il miglioramento della fertilità del pascolo e l'aumento della biodiversità.

**Siepi, filari e windbreaks.** Sono gli elementi più facili da implementare in aziende di piccola e media dimensione: filari arbustivi o alberati lungo i confini, buffer strip lungo i corsi d'acqua, siepi multifunzione. Svolgono funzione di barriera al vento, habitat per

insetti utili, protezione erosiva e sequestro di carbonio in radici e tronchi.

**Sistemi mediterranei complessi.** Integrano olivi, cereali, leguminose e pascolo in un unico assetto. Sono tra i sistemi più resilienti dal punto di vista agronomico e hanno un altissimo valore culturale e paesaggistico, oltre a rappresentare un patrimonio identitario per molte aree del Centro-Sud.

## 7.2 Scelta delle specie arboree: criteri tecnici

La selezione delle specie determina velocità di accrescimento, profondità radicale, quantità di carbonio sequestrabile, gestione annuale e valore economico della biomassa. I criteri da applicare in sede di progettazione sono cinque:

- **Autoctonia**, per evitare problemi paesaggistici e fitosanitari;
- **Velocità di crescita**: rapida (pioppo, salice, robinia), media (noce, gelso), lenta ma stabile (querce, castagno);
- **Resistenza al clima locale**: carrubo e leccio in zone aride, noce e quercia in zone temperate, pioppo e salice in zone irrigue;
- **Valorizzazione della biomassa**: legno commerciale, cippato, biomassa per biochar, potature destinate a compost e ammendanti;
- **Approccio multi-scopo**: in agroforestazione professionale una specie deve offrire almeno due funzioni tra ombra, biomassa, diversificazione, legname, habitat e protezione dal vento.

> **Per il tecnico** — La scelta della specie non va mai fatta isolatamente dalla destinazione della biomassa. Un impianto pensato per alimentare una filiera cippato o biochar richiede specie a rapido accrescimento (pioppo, salice, robinia) e cicli di ceduazione programmati; un impianto orientato al removal di lungo periodo privilegia querce e castagno, con turni più lunghi ma carbonio più stabile. Attenzione, però, alle specie esotiche a rapido accrescimento come la robinia: dove valgono i criteri di autoctonia e DNSH — in particolare per l'afforestazione CRCF (Capitolo 6) — il loro impiego può

essere escluso o limitato, ed è comunque da soppesare rispetto al rischio di invasività.

## 7.3 Carbonio nelle piante: dinamiche e quantificazione

Il carbonio sequestrato dagli alberi deriva dalla trasformazione della $CO_2$ atmosferica in biomassa aerea (tronco, rami, foglie), biomassa radicale e sostanza organica del suolo, quest'ultima veicolata da radici, essudati e reti micorriziche. In una pianta adulta la ripartizione tipica del carbonio accumulato è: 50% nel tronco e nei rami, 30% nelle radici, 20% nel suolo tramite essudati e decomposizione. L'albero funziona quindi come una vera e propria banca del carbonio, con accumulo su orizzonti temporali lunghi.

I tassi medi di sequestro dipendono da specie, età, clima e sito:

| Sistema / specie | Sequestro $CO_2$ |
|---|---|
| Pioppo | 8–15 t $CO_2$/ha/anno |
| Noce | 4–7 t $CO_2$/ha/anno |
| Siepe arbustiva | 1–3 t $CO_2$/100 m lineari |
| Silvopascolo maturo (suolo + biomassa) | 5–12 t $CO_2$/ha/anno |

## 7.4 Effetti agronomici dell'agroforestazione

Oltre al sequestro di carbonio, i sistemi agroforestali producono effetti agronomici misurabili che ne giustificano l'adozione anche a prescindere dal valore dei crediti:

- **Riduzione dell'erosione**: fino al 40-70% rispetto a terreni nudi o a coltura annuale pura;
- **Miglioramento del microclima**: suolo più fresco in estate, evaporazione ridotta, minore stress idrico;
- **Aumento della biodiversità**: +30-60% di insetti utili, +20-40% di nemici naturali dei parassiti, maggiore presenza di uccelli e piccoli vertebrati;
- **Infiltrazione dell'acqua**: +25-50% in presenza di radici profonde.

## 7.5 Normativa italiana ed europea

La cornice regolatoria è oggi favorevole all'agroforestazione professionale. Nella **PAC 2023-2027** la pratica è ammessa in vari ecoschemi, con possibile cumulabilità con la gestione integrata, pur in presenza di vincoli sulle superfici ammissibili. I **PSR regionali** prevedono misure agroforestali specifiche in quasi tutte le regioni italiane, a sostegno dell'impianto. Vanno inoltre considerati i **vincoli paesaggistici**: alberi e filari possono ricadere nelle competenze delle Soprintendenze, con necessità di valutazioni preventive nelle aree tutelate. Sul piano dei mercati carbon, nel quadro **LULUCF e CRCF** l'agroforestazione è considerata rimozione di lungo periodo, un elemento prezioso per i crediti di carbonio, per le strategie aziendali net zero, per le filiere certificate e in prospettiva per la compliance ETS2/CBAM.

## 7.6 Casi studio

| Contesto | Intervento | Risultato |
|---|---|---|
| Francia — Label Bas-Carbone | Modelli agroforestali certificati | Prezzi crediti elevati (35-50 €/t) |
| Italia — Pianura Padana | Filari frangivento in aziende cerealicole | Aumento rese cereali del 4-11% in anni siccitosi |
| Italia — Toscana | Oliveti + cover crop + pascolo ovino | SOC +22% in 5 anni |
| Germania — corridoi agroforestali | Corridoi forestali in seminativi | Contrasto a vento e siccità |

**Approfondimento tecnico** — Il caso della Pianura Padana è particolarmente rilevante per i progetti Forever Bambù: filari frangivento in aziende cerealicole hanno prodotto aumenti di resa a doppia cifra proprio negli anni più siccitosi, dimostrando che il ritorno agronomico dell'agroforestazione cresce insieme allo stress climatico — l'opposto di quanto avviene con le colture prive di protezione arborea.

## Sintesi operativa

L’agroforestazione è uno dei sistemi più potenti a disposizione del carbon farming professionale. La combinazione specie-distanze-gestione è la variabile che determina il successo del progetto, e i sistemi misti risultano sistematicamente più resilienti, più produttivi e più stabili nel tempo. Nei mercati volontari i crediti da agroforestazione sono classificati come removal premium, e l’Italia — per pedoclima, tradizione colturale e disponibilità di superfici idonee — presenta condizioni ideali per lo sviluppo su scala del settore.



CAPITOLO 8

# Biochar

Produzione, proprietà, certificazione, filiera italiana

*Carbonio stabile per secoli.*

Il biochar è uno dei pochi strumenti agricoli che consente una rimozione di carbonio realmente permanente, con durate di permanenza che vanno dai 100 ai 1.000 anni. Per questo motivo è classificato tra i "carbon removal premium" nel mercato volontario e, sempre più, nei mercati di compensazione ad alta integrità. In un progetto di carbon farming assume un duplice ruolo: integrazione alle pratiche di gestione del suolo e valorizzazione economica delle biomasse agricole altrimenti residuali.

## 8.1 Cos'è il biochar e come si produce

Il biochar è un materiale carbonioso solido generato dalla pirolisi di biomassa in condizioni di ossigeno limitato. Il processo riscalda la biomassa tra 300°C e 700°C, espelle gas e vapori (syngas e bio-olio) e lascia come residuo una matrice solida ricca di carbonio stabile. La biomassa di partenza (feedstock) può provenire da potature arboree (vite, olivo, fruttiferi), scarti forestali, residui agricoli lignocellulosici e bambù gigante, che rappresenta un feedstock particolarmente favorevole. La scelta del feedstock non è indifferente: influenza il contenuto di carbonio, il pH, la stabilità del prodotto finale e la presenza di eventuali microinquinanti.

## 8.2 Proprietà fisiche e chimiche del biochar

Quattro parametri definiscono la qualità agronomica e climatica del biochar.

**Carbonio totale e carbonio stabile.** Il carbonio totale non è di per sé indicativo del valore climatico del prodotto: conta la frazione stabile (carbonio recalcitrante), quella che resiste alla degradazione biologica, persiste nel suolo per secoli e contribuisce alla rimozione netta di $CO_2$. Tipicamente il 50-80% del carbonio del biochar è stabile; il resto è più labile, ma comunque utile alla biologia del suolo.

**Superficie specifica e porosità.** Può raggiungere 300-500 $m^2/g$, funzionando di fatto come un "condominio per microbi" che favorisce l'attività biologica del suolo.

**pH.** Spesso alcalino (7-10): utile per correggere suoli acidi, da gestire invece con cautela su suoli calcarei, dove può accentuare squilibri esistenti.

**CEC (capacità di scambio cationico).** Bassa inizialmente, aumenta con il tempo di permanenza nel suolo e mostra un'ottima sinergia con il compost.

## 8.3 Il biochar in agricoltura

Le dosi tipiche di applicazione vanno da 1 a 20 t/ha, con un intervallo più frequente di 3-7 t/ha in viticoltura e frutticoltura, fino a 10-20 t/ha su suoli sabbiosi e degradati. La regola operativa fondamentale è che il biochar va **sempre miscelato** — con compost, digestato o letame — e mai applicato da solo, per il rischio di impoverimento temporaneo di azoto nella fase iniziale.

> **Attenzione** — L'applicazione di biochar puro, senza carrier organico, può indurre un temporaneo sequestro di azoto disponibile nel suolo (immobilizzazione), con effetti depressivi sulla coltura nella stagione di applicazione. La miscelazione con compost o digestato non è un'opzione, ma una condizione necessaria per un utilizzo agronomicamente corretto.

I benefici agronomici documentati includono maggiore ritenzione idrica, miglior struttura del suolo, aumento della CEC nel medio periodo, creazione di habitat per batteri e funghi, minore lisciviazione dell'azoto e migliore resilienza alla siccità. I contesti dove il biochar rende meglio sono vigneti, oliveti, frutteti, orticole intensive, suoli sabbiosi e suoli asfittici.

## 8.4 Biochar e Carbon Farming: rimozione permanente

Il biochar è una delle forme più solide di Carbon Dioxide Removal (CDR) perché il carbonio è, di fatto, mineralizzato: è difficile da degradare e può persistere nel suolo per secoli. Il calcolo del credito segue una procedura standardizzata:

1. si misura la quantità di biochar prodotta;
2. si determina la percentuale di carbonio recalcitrante tramite analisi EBC;
3. si moltiplica per 3,67 per ottenere l'equivalente in $CO_2$;
4. si sottraggono le emissioni di pirolisi e trasporto.

**Esempio di calcolo**: 10 t di biochar, 70% di carbonio, 60% di frazione recalcitrante: 10 × 0,7 × 0,6 × 3,67 = **15,4 t $CO_2$ rimosse**.

## 8.5 Certificazioni e MRV

Sul piano della qualità del prodotto, gli standard di riferimento sono l'**EBC** (European Biochar Certificate) e l'**IBI** (International Biochar Initiative), che verificano purezza, assenza di metalli pesanti, livello di PAH, stabilità del carbonio e idoneità agronomica. Sul piano dei mercati carbon, gli standard di riferimento sono **Puro.Earth** (leader di settore), **Verra** (con metodologie integrate VM0042/VM0044) e il **Label Bas-Carbone** francese.

Un punto di forza strategico del biochar rispetto ad altre pratiche di carbon farming è il costo di MRV, tra i più bassi dell'intero settore: non serve modellistica complessa né monitoraggio continuo del suolo, è sufficiente certificare la produzione e la qualità del biochar.

## 8.6 Filiera biochar in Italia: opportunità reali

L'Italia dispone di feedstock abbondanti per una filiera nazionale: potature di vite, potature di olivo, scarti forestali, digestato solido e bambù gigante. Gli utilizzi integrati vanno oltre l'agricoltura, includendo l'edilizia (biochar in mattoni e calcestruzzi) e la gestione dei reflui, dove la capacità assorbente del materiale trova applicazione diretta.

> **Approfondimento tecnico — Perché è strategico per Forever Bambù** — La disponibilità di biomassa di bambù, il potenziale di una filiera integrata "bamboo → biochar → CDR", la possibilità di progetti che combinano SOC e biochar nello stesso sito, e il forte allineamento con il quadro CRCF e

con i buyer europei rendono il biochar una delle direttrici di sviluppo più coerenti con il posizionamento aziendale.

## Sintesi operativa

Il biochar rappresenta una rimozione permanente di carbonio con alto valore di mercato, sostenuta da un sistema di MRV semplice, robusto e poco costoso rispetto alle alternative. Funziona particolarmente bene su suoli difficili o degradati e potenzia le pratiche di carbon farming già in atto in vigneti e frutteti. L'Italia dispone della biomassa agricola necessaria a sostenere lo sviluppo di una filiera biochar nazionale.



CAPITOLO 9

# Mitigazione $N_2O$ e $CH_4$

Fertilizzanti, risaie, zootecnia

*Ridurre i gas serra là dove nascono.*

Oltre al carbonio organico del suolo (SOC), due gas climalteranti giocano un ruolo fondamentale nel bilancio delle emissioni agricole: il protossido d'azoto ($N_2O$) e il metano ($CH_4$). Entrambi hanno un potere riscaldante molto superiore alla $CO_2$ e rappresentano una quota sostanziale delle emissioni dirette dell'agricoltura italiana ed europea. Ridurne l'entità non è solo un obiettivo ambientale, ma una leva di generazione di crediti complementare alle rimozioni di carbonio.

## 9.1 Protossido d'azoto ($N_2O$): origine e dinamiche

Il $N_2O$ si forma principalmente tramite due processi microbici del suolo:

1. **Nitrificazione** — conversione da ammonio a nitrito a nitrato, che avviene in suoli aerobici con umidità moderata;
2. **Denitrificazione** — conversione da nitrato a $N_2O$ e infine a $N_2$, che avviene in suoli anaerobici o saturi.

Il $N_2O$ "esplode" in presenza contemporanea di tre condizioni: suoli molto umidi, dosi elevate di fertilizzante azotato e presenza di residui freschi ricchi di azoto. In Italia le maggiori emissioni provengono da mais, frumento, prati stabili fertilizzati e ortive azotate.

## 9.2 Strategie di mitigazione del $N_2O$

La riduzione del $N_2O$ è una delle leve più immediate nel carbon farming, per rapidità di applicazione e per il rapporto costo/beneficio.

**Ridurre le dosi e ottimizzare la forma dell'azoto**, sostituendo parte dell'urea — forte emettitore — con nitrato ammonico, solfato ammonico o fertilizzanti organici stabilizzati; localizzando il fertilizzante vicino alla radice; ricorrendo al microdosing.

**Inibitori.** L'NBPT (inibitore dell'ureasi) riduce la volatilizzazione e i picchi di $N_2O$; il DMPP e il DCD (inibitori della nitrificazione) rallentano la conversione da ammonio a nitrato. I benefici documentati da numerosi studi europei sono una riduzione del $N_2O$ del 30-55%, con un contestuale aumento dell'efficienza d'uso dell'azoto.

**Cover crop e leguminose.** Le cover crop assorbono l'azoto in eccesso, riducono la denitrificazione e rilasciano azoto lentamente. Le leguminose (trifoglio, veccia) aggiungono azoto al sistema, ma con una decomposizione più graduale rispetto alla concimazione minerale.

**Fertirrigazione e precision farming.** Irrigare e fertilizzare insieme riduce le perdite; l'applicazione a piccoli impulsi (split application) e l'uso di sensori NIR e mappe di prescrizione ottimizzano le dosi in funzione del reale fabbisogno colturale.

**Riduzione delle lavorazioni.** Meno arature significano meno mineralizzazione della sostanza organica del suolo, e quindi meno azoto disponibile per la conversione in $N_2O$.

> **Per il tecnico** — Gli inibitori di nitrificazione e ureasi sono la leva a più alto rapporto efficacia/costo per la riduzione dell'$N_2O$: interventi puntuali su formulazione e timing del fertilizzante, senza modificare l'ordinamento colturale, possono già portare a riduzioni del 30-55% documentate in ambito europeo.

## 9.3 Metano ($CH_4$): origine e mitigazione

Il $CH_4$ agricolo proviene da quattro fonti principali: le risaie in sommersione, la fermentazione enterica dei bovini, lo stoccaggio del letame e gli impianti a biogas con relativo leakage dei digestori.

## 9.4 Mitigazione $CH_4$ nelle risaie

La tecnica di riferimento è l'**Alternate Wetting and Drying (AWD)**, che alterna periodi di sommersione a periodi di campo umido ma non sommerso. Consente una riduzione del $CH_4$ del 30-70%, con il duplice beneficio di minor metano e minor consumo di acqua, e con resa invariata nelle condizioni dell'Italia settentrionale.

Sul fronte dei residui colturali, l'incorporazione dei residui aumenta il $CH_4$, mentre l'asportazione lo riduce; il compostaggio dei residui prima dell'incorporazione ne attenua ulteriormente l'effetto. Le varietà a ciclo

breve, già diffuse in Pianura Padana, riducono il periodo di sommersione e di conseguenza il $CH_4$ prodotto.

## 9.5 Mitigazione $CH_4$ nei bovini

Gli **additivi alimentari** rappresentano la leva più efficace: il 3-NOP (Bovaer) riduce il $CH_4$ enterico fino al 20-30%, le alghe rosse (*Asparagopsis taxiformis*) fino al 40-60%; tannini condensati e oli essenziali offrono contributi complementari.

Sul piano della **gestione della razione**, una maggiore quota di fibra digeribile rispetto alla fibra lignificata e un equilibrio tra amido e fibra riducono le fermentazioni lente responsabili di parte della produzione di metano.

Sul piano dello **stoccaggio del letame**, le coperture delle vasche, la raccolta del gas di fermentazione e la separazione tra frazione solida e liquida sono le tre misure di gestione più consolidate.

## 9.6 $CH_4$ nei digestori e leakage

Il metano prodotto nel digestore deve essere catturato, immesso in rete o bruciato (flaring) quando necessario. Ogni punto percentuale di leakage riduce in modo drammatico i benefici climatici dell'impianto, rendendo la tenuta impiantistica un elemento critico tanto quanto la produzione stessa.

> **Attenzione** — Un progetto di carbon farming che includa un digestore anaerobico deve trattare il controllo del leakage come requisito di progetto, non come dettaglio impiantistico: perdite anche minime possono azzerare il beneficio climatico netto dell'intera filiera biogas.

## 9.7 Integrazione: SOC + $N_2O$ + $CH_4$ in un unico progetto

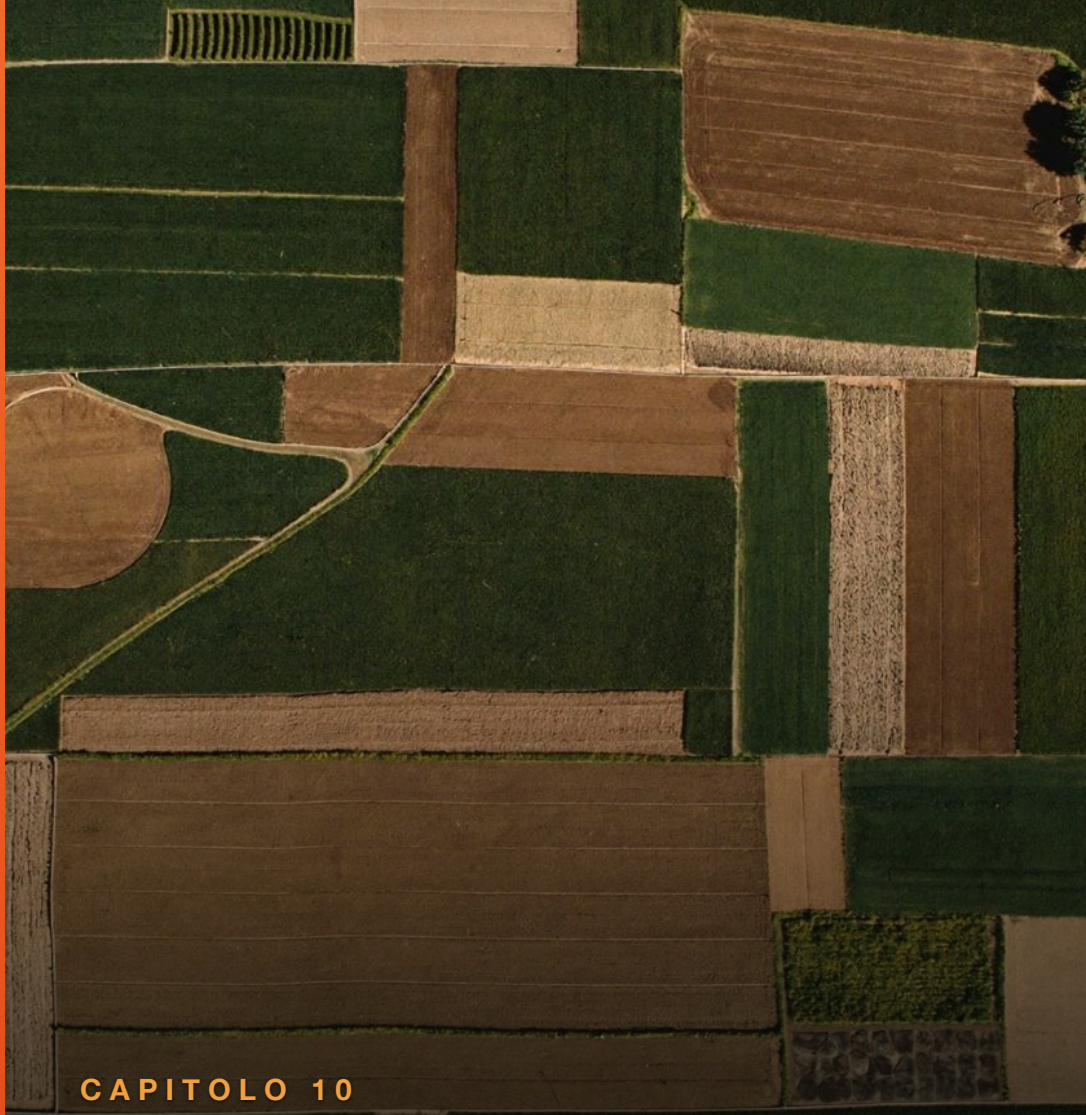
Le pratiche orientate al SOC generano co-benefici diretti sugli altri due gas: le cover crop riducono l'$N_2O$, il no-till riduce la mineralizzazione e quindi l'$N_2O$, leguminose e colture perenni riducono il fabbisogno di

fertilizzante sintetico, l'agroforestazione consente di compensare il $CH_4$ enterico, il biochar riduce l'$N_2O$ nei suoli acidi del 10-40%.

La metodologia **VM0042** consente di integrare in un unico progetto o Program of Activities (PoA) agricolo le rimozioni SOC, le riduzioni di $N_2O$ e le riduzioni di $CH_4$, aumentando la robustezza metodologica e il valore complessivo del progetto.

## Sintesi operativa

Il $N_2O$ è il gas più rilevante nel settore agricolo italiano, e la sua riduzione genera crediti complementari alle rimozioni di carbonio. Il $CH_4$ nelle risaie e nelle stalle è mitigabile con tecniche già consolidate e disponibili su scala. Digestori e stoccaggi del letame possono diventare fonti rilevanti di $CH_4$ evitato, a condizione di un controllo rigoroso del leakage. L'integrazione di SOC, $N_2O$ e $CH_4$ in un unico progetto aumenta la robustezza metodologica e il valore economico complessivo delle iniziative agricole di carbon farming.



CAPITOLO 10

# Progettare l’economia di un progetto

Dal caso singola azienda al PoA aggregato

*Dal singolo campo al progetto che sta in piedi.*

## 10.1 Il caso concreto: un'azienda di 100 ettari a mais e soia

Per capire davvero se il Carbon Farming "conviene", non bastano le tabelle di redditività orientativa per coltura viste nel Volume 1 (Tabella 10, §12.3). Serve un caso reale, con costi di produzione, contributi PAC, costi tecnici di certificazione e prezzo dei crediti tutti espliciti, riga per riga. Prendiamo un'azienda cerealicola di pianura, 100 ettari, rotazione mais–soia — l'archetipo più diffuso nelle aree ad alta intensità della Pianura Padana.

### 10.1.1 La baseline: la redditività prima del Carbon Farming

I costi di produzione storici (Italia Nord, valori medi 2023–2024) sono i seguenti.

| Mais — voce di costo | €/ha |
|---|---|
| Lavorazioni terreno (aratura, erpicature) | 320 |
| Seme | 140 |
| Fertilizzanti (N, P, K) | 350 |
| Diserbo + fungicidi | 180 |
| Irrigazione | 250 |
| Raccolta | 150 |
| Carburante e manutenzioni | 120 |
| **Totale** | **1.510** |

| Soia — voce di costo | €/ha |
|---|---|
| Lavorazioni terreno | 250 |
| Seme | 120 |
| Fertilizzanti leggeri | 80 |
| Diserbo | 120 |
| Irrigazione | 150 |
| Raccolta | 140 |

| Soia — voce di costo | €/ha |
|---|---|
| Carburante e manutenzioni | 110 |
| **Totale** | **970** |

Il ricavo del mais (produzione media 10–11 t/ha, prezzo 180–230 €/t) si attesta intorno a 2.000–2.400 €/ha; quello della soia (3,0–3,5 t/ha, prezzo 450–520 €/t) intorno a 1.350–1.750 €/ha. I contributi PAC (base + greening + eco-schemi) nell'Italia del Nord valgono in media 250–320 €/ha: usiamo una media prudenziale di 280 €/ha.

| | Mais | Soia |
|---|---|---|
| Ricavo lordo | 2.200 | 1.550 |
| PAC | +280 | +280 |
| Costi | –1.510 | –970 |
| **Margine/ha** | **≈ +970 €** | **≈ +860 €** |

Con una rotazione bilanciata 50%/50% sui 100 ettari, il margine medio ponderato è (970 + 860) / 2 = **915 €/ha**, per un totale aziendale di **91.500 €/anno**. Questo è il punto zero: la redditività dell'azienda *prima* di qualunque intervento di Carbon Farming.

### 10.1.2 La nuova gestione: no-till, cover crop, rotazioni

Il pacchetto di pratiche che genera credito di carbonio ha, a sua volta, un costo netto che va sommato o sottratto alla baseline.

**No-till (riduzione delle lavorazioni).** Il risparmio diretto è di 150 €/ha (meno aratura, meno gasolio, meno ore di trattore), ma richiede un investimento in seminatrice specifica (80.000 € per l'azienda, ammortizzati in 8.000 €/anno → 80 €/ha su 100 ha). Saldo netto: 150 – 80 = **+70 €/ha**.

**Cover crop (sovesci).** Seme del miscuglio, semina dedicata, eventuale trinciatura/roller e maggior consumo d'acqua portano il costo a **–110 €/ha**.

**Rotazioni migliorate.** La nuova sequenza tipo — mais → soia → cereale invernale/leguminosa → cover → mais — riduce rischi, input

azotati e pressione delle infestanti, ma comporta un costo aggiuntivo medio di **–40 €/ha**.

A questo si aggiungono i costi tecnici del progetto Carbon Farming vero e proprio: MRV, certificazione, verifica.

| Costi una tantum (implementazione) | Costo totale | €/ha |
|---|---|---|
| Progettazione + baseline | 25.000 € | 250 |
| Soil sampling iniziale | 8.000 € | 80 |
| Registrazione standard/registri | 5.000 € | 50 |
| Validazione VVB (ente di verifica) | 12.000 € | 120 |
| **Totale una tantum** | **50.000 €** | **500** |

Ammortizzato su 5 anni, questo pesa **100 €/ha/anno**.

| Costi annui ricorrenti | €/ha/anno |
|---|---|
| MRV digitale / monitoraggi | 40 |
| Soil sampling periodico | 20 |
| Verifica annuale (audit) | 12 |
| Fee registri + tokenizzazione | 20 |
| **Totale annuo** | **92** |

Il quadro economico complessivo delle nuove pratiche, riassunto in un'unica tabella, è questo:

| Voce | €/ha/anno |
|---|---|
| Risparmio No-till | +70 |
| Costi Cover crops | –110 |
| Costi Rotazioni | –40 |
| Ammortamento progettazione | –100 |
| MRV/monitoraggio | –92 |
| **Margine netto** | **–272 €/ha/anno** |

Questa è la cifra chiave del capitolo: **implementare Carbon Farming costa circa 272 €/ha/anno in più rispetto alla baseline**, prima ancora di contare il ricavo dei crediti.

**Attenzione** — I costi di certificazione (500 €/ha una tantum + 92 €/ha/anno) pesano quasi quanto il costo netto delle pratiche agronomiche stesse. È l'MRV, non l'agronomia, il vero freno economico del Carbon Farming stand-alone su scala aziendale: un punto su cui il Volume 1 ha già richiamato l'attenzione parlando dei "5 motivi per cui i progetti non arrivano al mercato" (§ dedicato ai costi MRV).

### 10.1.3 Produzione di crediti e loro valore

Con dati realistici e prudenziali, il pacchetto genera:

| Pratica | $tCO_2$/ha/anno |
|---|---|
| No-till | 0,8 |
| Cover crops | 2,0 |
| Rotazioni migliorate | 1,0 |
| **Totale** | **3,8** |

Su 100 ettari: **380 $tCO_2$/anno**. Ai prezzi del mercato volontario europeo (soil carbon agricolo standard: 20–30 €/t; standard premium/verificati/EU-aligned: 35–60 €/t; i removal credit richiesti da SBTi si collocano più in alto), tre scenari di prezzo danno:

| Scenario | Prezzo €/t | Ricavi totali |
|---|---|---|
| Prudente | 25 | 9.500 €/anno |
| Realistico | 40 | 15.200 €/anno |
| Premium | 55 | 20.900 €/anno |

Nello scenario realistico (40 €/t), il ricavo per ettaro è 3,8 × 40 = **152 €/ha/anno**.

### 10.1.4 Il risultato economico: prima e dopo

| | Baseline | Dopo Carbon Farming |
|---|---|---|
| Margine agricolo (colturale) | 915 €/ha | 915 – 272 = 643 €/ha |
| Ricavi da carbonio | — | +152 €/ha |
| **Redditività totale** | **915 €/ha** | **795 €/ha** |

| | Baseline | Dopo Carbon Farming |
|---|---|---|
| **Azienda 100 ha/anno** | **91.500 €** | **79.500 €** |

La differenza è di **–12.000 €/anno**: al prezzo attuale del mercato volontario, il Carbon Farming *non conviene* all'agricoltore nei primi anni. È un dato scomodo, ma è la fotografia reale del 2026: i costi di MRV, certificazione e progettazione restano troppo alti rispetto ai ricavi ottenibili a 25–40 €/t.

### 10.1.5 Dove nasce il vero vantaggio

Il punto che pochi colgono è che il break-even non dipende dalla bravura agronomica, ma unicamente dal prezzo del credito. Il costo extra è 272 €/ha su una produzione di 3,8 t/ha: il prezzo di pareggio è quindi

272 / 3,8 = **72 €/t**

Sopra i 72 €/t, l'agricoltore guadagna più che nella baseline. È qui che entra in gioco il CRCF europeo (Carbon Removal Certification Framework): i crediti certificati EU-aligned potrebbero posizionarsi in una fascia di 80–150 €/t, ben oltre il break-even.

### 10.1.6 Uno scenario futuro: CRCF a 100 €/t

Se il prezzo del credito salisse a 100 €/t, il ricavo carbonio diventerebbe 3,8 × 100 = 380 €/ha, e la redditività:

643 + 380 = **1.023 €/ha**, ovvero **102.300 €/anno** — **+10.800 € rispetto alla baseline di partenza** (91.500 €).

> **Approfondimento tecnico** — Il CRCF (Regolamento UE sulla certificazione delle rimozioni di carbonio) è lo strumento che punta a creare uno standard unico e riconosciuto per i crediti da carbon farming e da rimozione, superando la frammentazione degli standard volontari attuali. È il meccanismo che la politica europea sta costruendo proprio per colmare il gap economico oggi negativo mostrato in §10.1.4.

Oggi il Carbon Farming non è economicamente sorretto dai prezzi del mercato volontario: i costi di MRV, certificazione e progettazione restano troppo alti rispetto ai ricavi. Ma il CRCF cambierà la struttura dei prezzi. Gli agricoltori che entrano adesso costruiscono nel frattempo baseline storica, suoli migliorati, capacità tecnica e un posizionamento privilegiato: quando il CRCF entrerà pienamente in vigore (2026–2027), avranno crediti più remunerativi, saranno tra i primi a poterli vendere a prezzo premium, e potranno cumulare premi PAC aggiuntivi legati agli eco-schemi di carbon farming. È, in altre parole, una strategia anti-fragile: si paga nei primi anni, e il valore esplode nel medio periodo — a patto di avere già i dati, i processi e le certificazioni pronte quando il mercato cambierà.

## 10.2 Allargare lo sguardo: quanti sono e come sono fatti gli agricoltori italiani

Il caso appena descritto vale per un'azienda specifica. Per capire quanto sia replicabile in Italia, serve la fotografia strutturale del settore.

Al Censimento agricoltura 2020, in Italia risultano **1.133.023 aziende agricole**, con circa **12,5 milioni di ettari di SAU** (superficie agricola utilizzata) — una dimensione media di ~11 ha/azienda. La distribuzione per classe dimensionale è però tutt'altro che uniforme:

| Classe dimensionale | % delle aziende | % della SAU nazionale controllata |
|---|---|---|
| < 10 ha | ~78% (quasi 4 aziende su 5) | ~20% (circa 1/5) |
| ≥ 50 ha | 4,5% | ~47,5% (quasi metà) |
| ≥ 100 ha | 1,6% | ~30% |

La massa critica di carbonio sequestrabile sta nelle aziende medie e grandi; il numero di soggetti — e quindi la complessità amministrativa e sociale di un progetto — è concentrato nelle micro-aziende. È esattamente il dilemma che il Carbon Farming italiano deve risolvere.

L'uso del suolo nazionale, secondo i primi risultati ISTAT, si distribuisce così:

| Uso del suolo | % della SAU |
|---|---|
| Seminativi | 57,4% |
| Prati permanenti e pascoli | 25,0% |
| Coltivazioni legnose agrarie (vigneti, oliveti, frutteti) | 17,4% |
| Orti familiari | 0,1% |

Circa tre quinti della superficie nazionale sono seminativi in rotazione — il terreno più "naturale" per cover crop, min/no-till e agroforestazione. Un quarto sono pascoli, interessanti per il sequestro nel suolo tramite gestione rotazionale e intensiva rigenerativa. Poco meno di un quinto sono legnose permanenti, con potenziale di rimozione incrementale via inerbimenti, siepi e gestione della sostanza organica. Coerentemente, il 64,4% delle aziende coltiva seminativi (che occupano il 57,4% della SAU); il valore economico è però spesso trainato dalle legnose ad alto valore — vino, olio, frutta — dove la SAU è minore ma il fatturato per ettaro più alto.

Guardando alla composizione del fatturato agricolo nazionale (dato CREA, "L'Agricoltura italiana conta 2024", riferito al 2023, valore totale ≈37,5 miliardi di €):

| Fonte del fatturato agricolo | % sul totale nazionale |
|---|---|
| Coltivazioni (erbacee, legnose, foraggere) | 50,5% |
| Allevamenti zootecnici | 30,5% |
| Servizi e attività secondarie (conto-terzi, agriturismo, energia) | 19% |

Il caso mais–soia da 100 ha descritto in §10.1 appartiene, strutturalmente, a quell'1,6% di aziende ≥100 ha che controllano circa il 30% della SAU nazionale — tipicamente localizzate in aree ad alta intensità come la Pianura Padana. Sono poche, ma pesano moltissimo sia sul fatturato agricolo complessivo sia sulle emissioni e sul potenziale di sequestro: input elevati, suoli spesso sfruttati, ma grande capacità di risposta a un cambio di pratiche.

## 10.3 Tre archetipi di azienda italiana

Per tradurre questi numeri in progettazione concreta, conviene lavorare su tre tipologie medie rappresentative.

**Archetipo A — Piccola azienda mista (8 ha, collina centro-Italia).** 4 ha seminativi, 2 ha oliveto/vigneto, 2 ha prato-pascolo.

| Uso del suolo | Margine netto | PAC | Totale €/ha | Totale azienda |
|---|---|---|---|---|
| Seminativi (4 ha) | ~500 | ~250 | 750 | 3.000 €/anno |
| Oliveto/vigneto (2 ha) | ~1.500 | ~250 | 1.750 | 3.500 €/anno |
| Prati/pascoli (2 ha) | ~300 | ~300 | 600 | 1.200 €/anno |
| **Totale (8 ha)** | | | **≈960 €/ha** | **7.700 €/anno** |

Potenziale Carbon Farming: cover crop tutto l'anno sui seminativi (+2,0 $tCO_2$/ha), min/no-till sui seminativi (+0,7 $tCO_2$/ha), inerbimento permanente su olivo/vigna (+1,5 $tCO_2$/ha), gestione rigenerativa del pascolo (+1,0 $tCO_2$/ha). Totale: (2,7 × 4) + (1,5 × 2) + (1,0 × 2) ≈ **16 $tCO_2$/anno**. A 30/50/80 €/t: 480 / 800 / 1.280 €/anno. Cifre interessanti solo se i costi di progetto per ettaro sono bassissimi — cioè solo dentro un PoA. Stand-alone sarebbe ridicolo.

**Archetipo B — Azienda vitivinicola + seminativi (20 ha, colline del Nord o Centro).** 12 ha vigneto, 8 ha seminativi/foraggere.

| Uso del suolo | Margine netto | PAC | Totale €/ha | Totale azienda |
|---|---|---|---|---|
| Vigneto (12 ha) | ~3.000 | ~250 | 3.250 | 39.000 €/anno |
| Seminativi (8 ha) | | | 750 | 6.000 €/anno |
| **Totale (20 ha)** | | | **2.250 €/ha** | **45.000 €/anno** |

Potenziale Carbon Farming: inerbimento permanente dei filari + compost + stop diserbo chimico (2,0 $tCO_2$/ha su 12 ha), cover

crop/min-till sui seminativi (2,5 $tCO_2$/ha su 8 ha). Totale: 24 + 20 = **44 $tCO_2$/anno**. A 30/50/80 €/t: 1.320 / 2.200 / 3.520 €/anno. Qui il progetto inizia ad avere dignità economica, ma resta più sensato come parte di un PoA vitivinicolo territoriale (Consorzio, OP, cantina sociale) che come iniziativa isolata.

**Archetipo C — Azienda cerealicola/intensiva (100 ha)**, il caso già modellato in §10.1: potenziale 3,8 $tCO_2$/ha/anno (no-till + cover + rotazioni), 380 $tCO_2$/anno totali, margine carbon a 40 €/t di 15.200 €/anno (152 €/ha), costi extra ≈272 €/ha/anno, break-even ≈72 €/t. A 100 ha si può pensare a un progetto singolo, ma è borderline; a 20 o 8 ha è semplicemente impossibile senza un'aggregazione.

## 10.4 La logica del PoA (Programme of Activities)

L'osservazione che sblocca tutto è questa: con un **PoA** (Programme of Activities), i costi fissi — metodologia, design, validazione, registrazione — si spalmano su molti ettari e molte aziende, mentre i costi variabili (MRV per ettaro) crescono meno che proporzionalmente se il sistema è organizzato bene: MRV digitale, dati satellitari, campionamento stratificato, tecnici locali che seguono cluster di aziende invece di visitare ogni singolo appezzamento.

Uno scheletro di costi verosimile per un progetto EU-style:

| Costi iniziali (una tantum, PoA "madre") | Importo |
|---|---|
| Sviluppo metodologia/PD/PoA design | 120.000 € |
| Baseline, studi, modellistica | 80.000 € |
| Validazione VVB + fee registro | 100.000 € |
| **Totale iniziale PoA** | **300.000 €** |
| 10 CPA territoriali (avvio locale, formazione, controlli) a 20.000 €/CPA | 200.000 € |
| **Totale iniziale complessivo** | **500.000 €** |

Se il PoA arriva a 5.000 ha, il costo iniziale per ettaro è 500.000 / 5.000 = **100 €/ha**, ammortizzabile in 5–7 anni → 15–20 €/ha/anno (arrotondiamo a 20).

| Costi annui ricorrenti PoA | €/ha/anno |
|---|---|
| MRV digitale (platform, satellite, data management) | 15 |
| Campionamento suolo stratificato (media annua) | 10–15 |
| Audit/verifiche + fee registri | 10–15 |
| Supporto tecnico locale | 15 |
| **Totale (media)** | **45–55 (≈50)** |

Il confronto con il progetto singolo da 100 ha di §10.1 è illuminante:

| | Progetto singolo (100 ha) | PoA (5.000 ha) |
|---|---|---|
| Ammortamento iniziale | 100 €/ha/anno | 20 €/ha/anno |
| MRV/monitoraggio ricorrente | 92 €/ha/anno | 50 €/ha/anno |
| **Totale** | **192 €/ha/anno** | **70 €/ha/anno** |

La struttura di costo di certificazione/MRV diventa quasi un terzo per ettaro. È qui che l'aggregazione fa la differenza tra un progetto che non regge il mercato attuale e uno che può reggerlo.

> **Per il tecnico** — L'unità operativa del PoA non è l'azienda, ma il CPA (CPA = Component Project Activity, o "sotto-progetto"): un cluster territoriale — provincia, comprensorio, cooperativa — che aggrega più aziende sotto un'unica metodologia madre. È questa architettura che permette di dimezzare (o quasi) i costi unitari di certificazione senza perdere rigore MRV.

## 10.5 Modellizzazione di un PoA da 5.000 ettari (30% vigneto, 30% cereali, 40% pascolo)

Prendiamo un mix realistico per un territorio italiano misto:

| Coltura | ha | % |
|---|---|---|
| Vigneto | 1.500 | 30% |
| Cereali/seminativi | 1.500 | 30% |
| Pascolo/prato permanente | 2.000 | 40% |
| **Totale** | **5.000** | **100%** |

Con ipotesi di sequestro prudenziali ma interessanti per tipologia (vigneto con inerbimento e gestione organica 2,0 $tCO_2$/ha; cereali con cover crop, min/no-till e rotazioni 3,0 $tCO_2$/ha; pascolo con gestione rigenerativa 1,5 $tCO_2$/ha):

| Tipologia | $tCO_2$/ha/anno | ha | $tCO_2$/anno |
|---|---|---|---|
| Vigneto | 2,0 | 1.500 | 3.000 |
| Cereali | 3,0 | 1.500 | 4.500 |
| Pascolo | 1,5 | 2.000 | 3.000 |
| **Totale** | | **5.000** | **10.500** |

Media pro-ettaro: 10.500 / 5.000 = **2,1 $tCO_2$/ha/anno**. I ricavi da crediti, su tre scenari di prezzo, sono:

| Scenario | Prezzo €/t | Ricavi totali PoA | €/ha/anno |
|---|---|---|---|
| Basso | 30 | 315.000 € | 63 |
| Medio | 50 | 525.000 € | 105 |
| Alto (CRCF/corporate premium) | 80 | 840.000 € | 168 |

Confrontando con il costo totale del PoA (≈70 €/ha/anno, di cui 20 di ammortamento iniziale e 50 di MRV ricorrente):

| Scenario | Margine netto €/ha/anno | Margine netto totale (5.000 ha) |
|---|---|---|
| 30 €/t | –7 | –35.000 € (perdita) |
| 50 €/t | +35 | +175.000 €/anno |
| 80 €/t | +98 | +490.000 €/anno |

**La formula generale di break-even.** Definiamo: Cf = costi fissi totali del PoA (€/anno, già ammortizzati); Cv = costi variabili per ettaro (€/ha/anno); A = superficie totale del PoA (ha); S = sequestro medio per ettaro ($tCO_2$/ha/anno); p = prezzo del credito (€/$tCO_2$).

Il costo totale per ettaro è (Cf / A) + Cv; il ricavo per ettaro è S × p. Il pareggio si ha quando S × p = (Cf/A) + Cv, da cui:

**$p^* = [(Cf / A) + Cv] / S$**

Applicata al nostro PoA da 5.000 ha (Cf/A ≈ 20 €/ha, Cv ≈ 50 €/ha, S ≈ 2,1 $tCO_2$/ha):

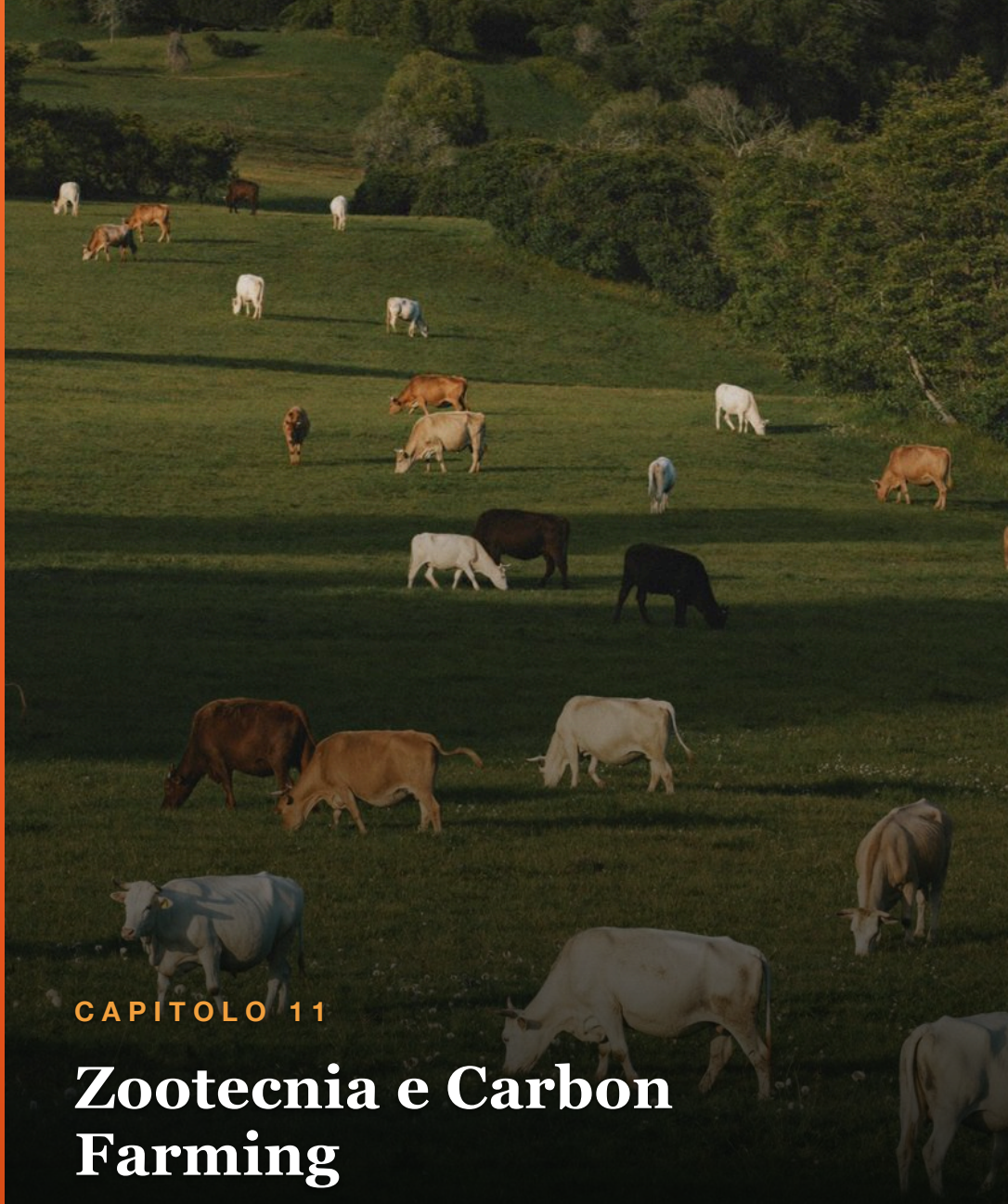
$p^* = (20 + 50) / 2{,}1 \approx$ **33 €/t**

molto più basso dei ~72 €/t di break-even del progetto singolo da 100 ha visto in §10.1.5. È la dimostrazione numerica che l'aggregazione, più che l'agronomia, è la leva che rende il Carbon Farming economicamente sostenibile in Italia oggi, senza dover aspettare i prezzi premium del CRCF.

Per le aziende piccole (8–20 ha) il Carbon Farming ha senso solo dentro un PoA o uno schema collettivo — Consorzio, OP, cooperativa, "distretto Carbon Farming": il valore annuo per azienda resta di poche centinaia o migliaia di euro, ma è addizionale, spendibile in marketing ("vino a impatto climatico positivo") e cumulabile con altri incentivi PAC. Per le aziende medio-grandi (100+ ha) un progetto singolo è valutabile, ma la soglia di prezzo per la convenienza resta alta; dentro un PoA la competitività migliora molto. Per il sistema-paese, un PoA multi-colturale come questo porta il break-even sotto i 40 €/t; ai livelli di prezzo attesi con CRCF e domanda corporate europea (50–80 €/t) il modello diventa molto profittevole — fermo restando il bisogno di un MRV serio e la consapevolezza dei rischi regolatori e di prezzo del carbonio.

> **Approfondimento tecnico** — In questo schema, Forever Bambù può assumere il ruolo di *project developer / aggregatore*: mette a sistema consorzi vitivinicoli, organizzazioni cerealicole e associazioni zootecniche/pastorali, progetta il PoA con "pacchetti" di pratiche differenziati per tipologia colturale, gestisce l'MRV

digitale con qualche ground-truthing in campo, e cura la registrazione in un contesto allineato al CRCF non appena questo sarà operativo.



CAPITOLO 11

# Zootecnia e Carbon Farming

Quanta terra serve per compensare un allevamento

*Quanta terra serve davvero.*

## 11.1 Come sono fatte le aziende zootecniche italiane

Le aziende con allevamenti in Italia sono circa 150–160 mila. Circa il 62% ha bovini (da latte e da carne), con dimensione media di ~60 capi. Le aziende specializzate solo in bovini da carne sono circa 94.600, con dimensione media di appena 24 capi/azienda — un tessuto molto frammentato. Le aziende da latte sono circa 19.748, per un totale di 1,4 milioni di vacche da latte e una media di ~70 vacche/azienda; ma la distribuzione è fortemente concentrata: l'80% delle vacche sta in aziende con oltre 100 capi, e oltre un quarto sta in stalle con più di 500 capi. I suini contano circa 8,6 milioni di capi in 32.500 allevamenti (media ≈268 capi/azienda), con il grosso della massa animale concentrato in poche aziende grandi. Gli avicoli contano circa 9.300 allevamenti di pollame (dato 2020), con un numero di capi enorme concentrato in strutture intensive da decine di migliaia di capi per sito.

Sul fronte emissivo: l'agricoltura vale circa il 7% delle emissioni nazionali; di queste, circa il 73% proviene dagli allevamenti; e all'interno degli allevamenti, circa il 57% è generato dalle bovine (35% vacche da latte, 32% altri bovini) e il 13% dai suini. I target prioritari per un intervento di Carbon Farming compensativo sono dunque, in ordine di rilevanza: bovini da latte, bovini da carne, suini intensivi, avicoli intensivi.

> **Approfondimento tecnico** — I valori di emissione per capo usati in questo capitolo sono stime didattiche costruite su LCA (Life Cycle Assessment) europee e studi italiani, comprensive di fermentazione enterica, gestione delle deiezioni, mangimi ed energia. Non sono fattori di emissione ufficiali ISPRA: per un progetto reale, la quantificazione baseline richiede sempre un LCA o un audit specifico di sito.

## 11.2 Ordini di grandezza delle emissioni per capo

| Specie/ categoria | Emissioni | Base di calcolo |
|---|---|---|
| Bovino da latte | ≈9 $tCO_2e$/capo/anno (range 8–12) | 1,0–1,5 $kgCO_2e$/kg latte × 7.000–9.000 kg/anno |

| Specie/ categoria | Emissioni | Base di calcolo |
|---|---|---|
| Bovino da carne | ≈5,5 $tCO_2e$/capo/anno (range 5–6) | beef UE 25–30 $kgCO_2e$/kg carne, sistema misto vacche nutrici + ingrasso |
| Suino da ingrasso | ≈1,7 $tCO_2e$/posto stalla/anno (range 1,5–2,0) | 7–9 $kgCO_2e$/kg carne UE, più cicli/anno |
| Avicolo broiler | ≈0,5 $tCO_2e$/posto stalla/anno (range 0,4–0,6) | 3,5–5 $kgCO_2e$/kg UE, più cicli/anno |

## 11.3 Tre taglie per specie

| Specie | Taglia | Capi/posti | Emissioni totali |
|---|---|---|---|
| Bovini da latte | Piccola stalla | 40 | 360 t/anno |
| | Stalla media | 100 | 900 t/anno |
| | Grande stalla | 500 | 4.500 t/anno |
| Bovini da carne | Piccolo allevamento | 30 | 165 t/anno |
| | Medio | 100 | 550 t/anno |
| | Grande ingrasso | 300 | 1.650 t/anno |
| Suini | Piccolo/medio | 500 posti | 850 t/anno |
| | Medio-grande | 2.000 posti | 3.400 t/anno |
| | Grande integrato | 10.000 posti | 17.000 t/anno |
| Avicoli broiler | Piccolo intensivo | 10.000 posti | 5.000 t/anno |
| | Medio | 40.000 posti | 20.000 t/anno |
| | Grande | 150.000 posti | 75.000 t/anno |

## 11.4 Quanta terra di Carbon Farming serve

Per convertire le emissioni residue in ettari necessari, servono i tassi di assorbimento per tipologia di Carbon Farming:

| Modello di Carbon Farming | $tCO_2e$/ha/anno |
|---|---|
| Cereali (cover crop + no/min-till + rotazioni) | ≈3,0 (range 2,5–3,5) |
| Pascolo rigenerativo (rotazionale, alta biomassa radicale) | ≈1,8 (range 1,5–2,0) |
| Sistemi agroforestali (alberi + colture/pascolo) | ≈6,0 (range 5–10, molto dipendente da densità e specie) |
| Bambù gigante — accumulo lordo di stock (extra-CRCF), modello Forever Bambù | **≈264 (lordo, in crescita)** |

Il bambù gigante riprende il dato di accumulo già presentato nel Volume 1, §9.3 (dell'ordine di 264 $tCO_2$/ha·anno di accumulo lordo di stock nella fase di crescita) e non viene qui ricalcolato in autonomia. Valgono però, come nel Volume 1, tre precisazioni essenziali. Primo: è un accumulo lordo di stock durante la crescita, non un credito annuo ricorrente — il credito nasce dalla variazione di stock, mentre il carbonio che a regime esce nei culmi è prodotto, non credito. Secondo: il valore netto certificabile è inferiore al lordo, dopo le deduzioni obbligatorie di incertezza, GHG di progetto e buffer. Terzo: il bambù gigante non rientra nella metodologia di afforestazione CRCF del Capitolo 6 (specie non autoctona; il Registro CREA forestale lo esclude perché non classificato come «foresta» ex D.Lgs. 34/2018), e la sua via è il mercato volontario ad alta integrità — assorbimenti misurati, verificati da terza parte, su registro pubblico (ISO 14064-2, principi ICVCM) — al di fuori del quadro CRCF. Con questi caveat, resta comunque un ordine di grandezza superiore agli altri modelli di Carbon Farming agricolo, il che cambia la scala degli ettari necessari.

> **Attenzione** — Il principio guida resta sempre "prima riduco, poi compenso": non ha senso progettare la compensazione di un allevamento senza aver prima applicato le leve di mitigazione interna disponibili (efficienza alimentare, gestione dei reflui, energia rinnovabile in stalla). Solo sulle emissioni *residue*, dopo la riduzione, si dimensiona la superficie di Carbon Farming.

## 11.5 Quanti ettari servono, archetipo per archetipo

Applicando pacchetti di riduzione interna realistici — 30% per le stalle da latte (efficienza alimentare e genetica, riduzione dell'azoto nei reflui, coperture delle vasche, fotovoltaico/biogas), 25% per i bovini da carne (più pascolo, meno concentrati, gestione del letame), 40% per i suini (digestore biogas, coperture vasche, recupero energetico) e 25% per gli avicoli (ventilazione efficiente, fotovoltaico, formulazioni mangimi) — e poi confrontando l'emissione residua con i tassi di assorbimento di §11.4, si ottiene:

| Allevamento | Emissioni | Riduzione interna | Residuo | Ha cereali CF | Ha agroforestazione | Ha bambù (lordo, extra-CRCF) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Stalla latte, 40 vacche | 360 t | 30% | 252 t | 84 ha | 42 ha | ~1 ha |
| Stalla latte, 100 vacche | 900 t | 30% | 630 t | 210 ha | 105 ha | ~2 ha |
| Stalla latte, 500 vacche | 4.500 t | 30% | 3.150 t | 1.050 ha | 525 ha | ~12 ha |
| Bovini da carne, 100 capi | 550 t | 25% | 412 t | 230 ha (pascolo rigenerativo) | — | ~2 ha |
| Suini, 2.000 posti | 3.400 t | 40% | 2.040 t | 680 ha | 340 ha | ~8 ha |
| Avicoli broiler, 40.000 posti | 20.000 t | 25% | 15.000 t | 5.000 ha | 2.500 ha | ~57 ha |

Per la stalla media da 100 vacche — il caso più citato come riferimento — esiste anche un'opzione di mix: metà della superficie in agroforestazione e metà in cereali di Carbon Farming porta il fabbisogno a circa 160 ha (315 t / 6 = 52,5 ha di agroforestazione + 315 t / 3 = 105 ha di cereali). Il "numero da brochure" per 100 vacche con riduzione interna del 30% è quindi: **100–200 ha di Carbon Farming tradizionale**, a seconda dell'intensità del modello scelto (verso i 200 ha lavorando solo su seminativi, verso i 100 ha con sistemi agroforestali ad alto assorbimento) — oppure **un ordine di pochi ettari (al lordo delle deduzioni)** se si opta per un progetto volontario a bambù gigante — che però non è un'afforestazione CRCF ma un filone extra-CRCF (vedi §11.4) — o un mix appropriato delle due opportunità.

Per la stalla piccola (40 vacche, tipicamente con appena 8–10 ha propri), il modello sensato non è mai lo stand-alone: la stalla conferisce il latte a una cooperativa o a un caseificio che sviluppa un PoA territoriale, e gli ettari mancanti vengono coperti dai cerealicoltori aderenti alla filiera — oppure, più semplicemente, dalla piantumazione di circa 1 ettaro di bambù gigante secondo il modello Forever Bambù. Per la stalla grande (500 vacche), che tipicamente dispone di 250–400 ha propri a mais e foraggi convertibili in Carbon Farming, la superficie aziendale può essere integrata da relazioni con i cerealicoltori limitrofi in un PoA di distretto, oppure completata con pochi ettari di bambù gigante quando il terreno disponibile non è sufficiente a coprire il fabbisogno.

Per suini e avicoli, la sproporzione tra emissioni e SAU disponibile è strutturale: un allevamento suinicolo da 2.000 posti non possiede quasi mai i 680 ha di cereali (o i 340 di agroforestazione) necessari a compensarlo, ed è quindi integrato in filiere — mangimificio, cerealicoltori partner — dove i crediti di carbonio servono anche a certificare la filiera DOP/IGP come low-carbon. Lo stesso vale, in forma ancora più marcata, per gli avicoli: un capannone da 40.000 posti da solo non potrà mai raggiungere la neutralità, ma solo come nodo di una filiera allargata su un comprensorio di qualche migliaio di ettari.

## 11.6 Modelli di Carbon Farming ideali per tipo di allevamento

**Bovini da latte.** Le piccole stalle (≤50 capi) partecipano a un PoA di filiera latte, riducendo internamente e compensando su vigneti, oliveti o pascoli di terzi e sui seminativi dei cerealicoltori della cooperativa. Le stalle medie (≈100 capi) adottano un Carbon Farming misto: parte sulla SAU aziendale (mais, medica, loietto → cover crop, min-till, siepi) e parte su terzi tramite PoA. Le grandi stalle (≥500 capi) diventano hub di distretto: impianti biogas con digestato ben gestito, grandi superfici cerealicole e agroforestali, e un ruolo di "ancora" per un PoA da migliaia di ettari.

**Bovini da carne.** Le aziende piccole/medie (30–100 capi) puntano su pascolo rigenerativo, siepi e filari — rotazioni, periodi di riposo lunghi, alta biomassa, riduzione dei concentrati — con un'eventuale piccola quota di seminativi in Carbon Farming. I grandi ingrassi (300+ capi) combinano precision feeding e riduzione dei giorni di ingrasso, gestione dei reflui con eventuale mini-biogas, e partecipazione a un PoA che include i cerealicoltori fornitori di mangimi low-carbon.

**Suini e avicoli.** Per definizione sono taglie medio-grandi senza terra propria sufficiente: il modello sensato è sempre la filiera allargata — suoli dei cerealicoltori che producono mais, soia e frumento per i mangimi, progetti agroforestali nei comprensori, MRV digitalizzato su ampie superfici. L'unità di progettazione, in questi casi, non è mai il singolo allevamento ma il cluster di allevamenti più le aziende agricole fornitrici, su un'area di qualche migliaio di ettari.

> **Per il tecnico** — Nella scelta del modello di compensazione per un cliente zootecnico, la domanda da porre per prima non è "quanti ettari servono" ma "chi possiede quegli ettari": se la SAU aziendale è sufficiente, il progetto può restare interno; se non lo è (il caso più comune per suini, avicoli e stalle piccole), il progetto deve nascere fin dall'inizio come PoA di filiera, con i fornitori di foraggio/mangime come conferenti di ettari.

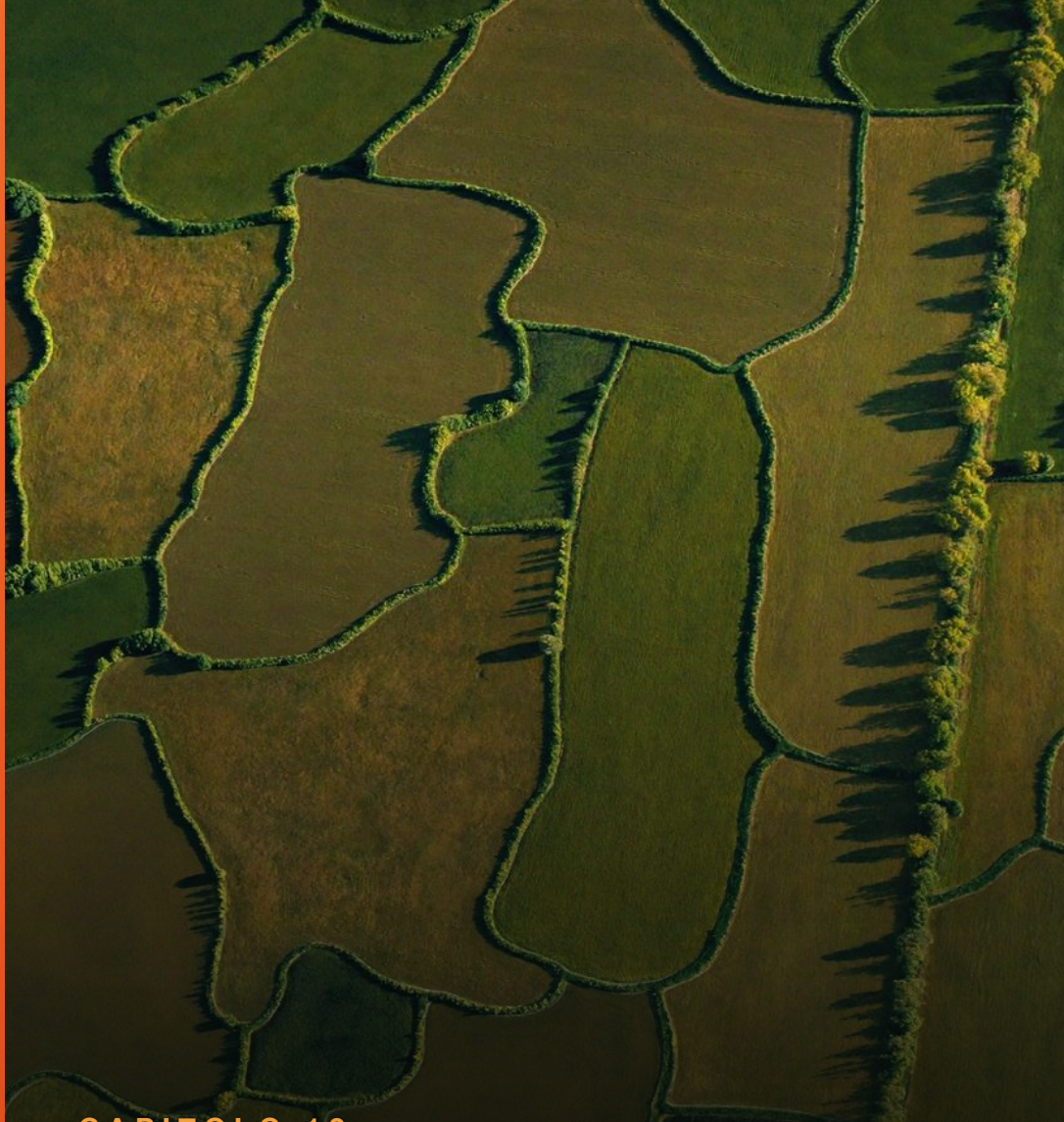
## 11.7 Una formula semplice: da capi a ettari

Per qualsiasi allevamento, il dimensionamento segue tre passaggi: si stimano le emissioni totali annuali E ($tCO_2e$/anno); si applica una riduzione interna tecnica r (ad esempio 0,3 per il 30%); si sceglie un sequestro medio per ettaro S ($tCO_2e$/ha/anno), diverso per cereali in Carbon Farming (≈3), pascolo rigenerativo (≈1,8), agroforestazione (≈6) o bambù gigante modello Forever Bambù (264, accumulo lordo di stock in crescita, non credito annuo ricorrente; cfr. Volume 1 §9.3 e §11.4). Da qui:

**Emissioni residue: Eres = E × (1 – r)**

**Ettari necessari: Ha = Eres / S**

È una formula che vale per qualsiasi combinazione di numero di capi, percentuale di riduzione e tipologia di Carbon Farming scelta — ed è lo strumento di base per dimensionare, in fase di offerta commerciale, qualunque progetto di compensazione zootecnica, dal piccolo allevamento familiare al grande sito industriale integrato in filiera.



CAPITOLO 12

# Governance multi-azienda e progettazione PoA

*Fare massa critica: la governance di distretto.*

Il carbon farming agricolo, se realizzato azienda per azienda, non regge dal punto di vista economico né da quello tecnico. I costi di monitoraggio, campionamento, modellistica e verifica sono troppo alti per essere ammortizzati da una singola impresa agricola, la capacità MRV (Monitoring, Reporting, Verification) richiede competenze e infrastrutture che nessuna azienda di piccole dimensioni può permettersi da sola, e il mercato dei crediti non premia lotti frammentati e disomogenei. Per diventare sostenibile e competitivo, il carbon farming deve organizzarsi su scala territoriale attraverso un **Program of Activities (PoA)**. Questo capitolo spiega come un agronomo, un consulente o un project developer può progettare, governare e scalare un progetto multi-azienda in linea con i principali standard di riferimento — Verra VM0042, Gold Standard, Label Bas-Carbone. Per la modellazione economica di un PoA aggregato (costi, ricavi, break-even) si rimanda al Capitolo 10: qui l'attenzione è sulla governance, cioè su chi fa cosa, come si organizza il progetto e quali rapporti contrattuali legano i soggetti coinvolti.

## 12.1 Perché serve una governance territoriale

L'agricoltura italiana è strutturalmente frammentata: circa l'80% delle aziende ha meno di 10 ettari. Nessuna di queste, presa singolarmente, può sostenere i costi di un progetto carbon credibile — campagne di campionamento del suolo, modellistica processuale (RothC, DNDC), audit di parte terza, gestione del registro crediti. Una governance territoriale che aggrega decine o centinaia di aziende sotto un'unica cabina di regia consente di raggiungere contemporaneamente cinque obiettivi che nessuna azienda isolata può ottenere:

- **aggregazione** dei volumi, che rende il progetto interessante per i buyer corporate;
- **scalabilità** dei costi fissi di MRV e verifica su una base ampia di ettari;
- **qualità MRV** uniforme, con protocolli e strumenti standardizzati su tutta l'area;
- **permanenza** del carbonio, monitorata nel tempo con continuità gestionale anche in caso di ricambio aziendale;

- **accesso ai buyer corporate** e allineamento anticipato al futuro quadro CRCF europeo (Carbon Removal Certification Framework), che premierà proprio i progetti capaci di dimostrare rigore, trasparenza e scala.

## 12.2 Cos'è un PoA

Un Program of Activities è un progetto carbon che aggrega un numero elevato di aziende agricole sotto una direzione unica — la **CME, Coordinating/Managing Entity** — applicando uno standard metodologico comune, un sistema MRV uniforme e un meccanismo unico di emissione dei crediti. Ogni singola azienda aderente costituisce una CPA (Component Project Activity, o unità di progetto) all'interno del programma complessivo. La logica PoA è particolarmente adatta all'agricoltura perché riduce drasticamente quattro fattori critici che, in un approccio azienda-per-azienda, renderebbero il progetto insostenibile: il costo per ettaro, la complessità amministrativa, il rischio di inadempienza contrattuale diffusa e l'eterogeneità dei dati raccolti sul campo.

## 12.3 Come si struttura un PoA agricolo

Un PoA agricolo si costruisce attraverso sei componenti operative, ciascuna delle quali richiede scelte tecniche e governance dedicate.

**1. Delimitazione geografica.** Il PoA opera su un'area omogenea, tipicamente compresa tra 2.000 e 50.000 ettari: un comprensorio di pianura, un distretto viticolo, un territorio consortile, il bacino di raccolta di un'Organizzazione di Produttori cerealicola. L'omogeneità pedoclimatica e colturale dell'area è condizione necessaria per applicare baseline e modelli comuni.

**2. Selezione delle pratiche.** Vanno scelte pratiche compatibili con la metodologia di riferimento (VM0042 o Label Bas-Carbone): cover crops, no-till o minimum tillage, agroforestazione, biochar, riduzione dell'apporto azotato, gestione ottimizzata del letame, AWD (Alternate Wetting and Drying) in risicoltura.

**3. Arruolamento delle aziende.** L'adesione delle singole imprese passa attraverso strutture intermedie già radicate sul territorio: cooperative, consorzi agrari, Organizzazioni di Produttori e loro Associazioni (OP/AOP), Centri di Assistenza Agricola (CAA), enti locali. Questi soggetti fungono da canale di reclutamento, da interfaccia di fiducia con l'agricoltore e spesso da primo livello di assistenza tecnica.

**4. Sistema MRV.** È l'infrastruttura che garantisce la credibilità del progetto:

> **Approfondimento tecnico** — Un sistema MRV digitale per un PoA agricolo integra tipicamente: dati satellitari Sentinel-1/2 per il monitoraggio continuo delle pratiche colturali; droni per verifiche puntuali su aree campione; un'app mobile che l'agricoltore utilizza per registrare le operazioni in campo; campionamenti fisici del suolo a baseline e poi ogni cinque anni; modellistica processuale (RothC, DNDC) per stimare la variazione dello stock di carbonio organico; un audit trail su cloud che rende tracciabile e verificabile ogni passaggio del dato, dalla rilevazione alla certificazione finale.

**5. Struttura contrattuale.** Ogni azienda aderente firma un contratto con la CME che definisce criteri di esclusione, obblighi annuali di rendicontazione, condizioni di revoca in caso di non conformità, regole di privacy e condivisione dei dati, meccanismi di revenue sharing. Questo aspetto è approfondito al paragrafo 12.5 e, sul piano squisitamente legale, nel Capitolo 13.

**6. Emissione dei crediti.** Il ciclo si chiude con il calcolo delle rimozioni/riduzioni, la verifica di parte terza, la registrazione nel registro dello standard scelto, la vendita collettiva (normalmente gestita dalla CME) e la ripartizione dei ricavi tra i soggetti coinvolti secondo quanto stabilito contrattualmente.

## 12.4 Governance: ruoli e responsabilità

Un PoA agricolo funziona se i ruoli sono distinti con chiarezza fin dall'avvio.

La **CME (Coordinating/Managing Entity)** è il soggetto che progetta il programma, lo implementa, ne monitora l'andamento, negozia e vende i crediti, gestisce le verifiche con l'ente terzo e mantiene i rapporti con lo standard di certificazione, garantendo la compliance complessiva del progetto. Forever Bambù, per esperienza tecnica e posizionamento sul territorio italiano, può svolgere pienamente questo ruolo.

Gli **agronomi territoriali** sono il braccio operativo sul campo: assistono le aziende aderenti nell'adozione delle pratiche, ne verificano la corretta implementazione, eseguono audit interni periodici e supportano la raccolta dati per l'MRV.

Il **Data/MRV Team** cura la componente tecnico-scientifica: modelli di stock del carbonio organico del suolo, piattaforme di MRV digitale, database geospaziali, analisi satellitari e dashboard di monitoraggio dell'intero PoA.

La funzione **Legal & Compliance** presidia privacy, contrattualistica, dimensionamento del buffer di garanzia e gestione del rischio di reversal — argomenti trattati in dettaglio nel Capitolo 13.

## 12.5 Contratti e responsabilità

Il contratto che lega la CME a ciascuna azienda aderente al PoA deve contenere, come minimo: la descrizione dell'area e della CPA di appartenenza, l'elenco delle pratiche obbligatorie, i diritti e i doveri reciproci, le modalità di gestione dei dati sensibili, gli obblighi di mantenimento delle pratiche nel tempo, gli eventuali costi di recesso, le procedure di gestione delle non conformità, le modalità di firma (digitale o tradizionale) e le condizioni di annullamento dei crediti in caso di reversal volontario. Questi elementi contrattuali sono la base su cui si innestano le clausole più specifiche — durata, accesso MRV, reversal, penali — descritte nel capitolo successivo.

## 12.6 Struttura operativa e roadmap

Un PoA agricolo si sviluppa realisticamente su tre fasi:

- **0–6 mesi**: rilievo della baseline SOC (Soil Organic Carbon), arruolamento delle prime aziende, definizione dei cluster territoriali, creazione del database georeferenziato del progetto.
- **6–12 mesi**: implementazione delle pratiche concordate, attivazione del sistema di MRV digitale, formazione degli agricoltori aderenti, prima raccolta dati su base annuale.
- **12–24 mesi**: primo audit di verifica, prima emissione di crediti, avvio della vendita ai buyer corporate, prima ridistribuzione dei ricavi alle aziende.

## 12.7 Casi studio

Il **Label Bas-Carbone** francese mostra come una governance forte, costruita attorno a filiere e Organizzazioni di Produttori con ruolo attivo, sia un fattore decisivo di successo. Il programma indiano di **AWD in risicoltura** dimostra invece che una CME centrale ben strutturata può coordinare PoA con decine di migliaia di aziende aderenti, a conferma della scalabilità del modello. Il caso statunitense di **Indigo** è invece un monito:

> **Attenzione** — Una governance debole, con controlli insufficienti sull'additionality delle pratiche dichiarate, ha esposto il programma Indigo a critiche pubbliche sulla reale addizionalità dei crediti generati. È la controprova di quanto la qualità della governance — non solo la tecnica agronomica — determini la credibilità di un progetto carbon.

La proposta di Forever Bambù è di porsi come primo CME agricolo italiano, sviluppando PoA regionali nella fascia 3.000–15.000 ettari, con MRV digitale integrato e uno standard di riferimento che combina VM0042, biochar e agroforestazione.

> **Sintesi operativa** — Nessun progetto di carbon farming è scalabile senza un PoA. Il PoA richiede una governance forte, dati uniformi e un sistema MRV digitale. Forever Bambù ha le condizioni per diventare la CME di riferimento in Italia, con l'obiettivo di realizzare i primi PoA agricoli italiani certificati VM0042.



CAPITOLO 13

# Diritto agricolo e contratti

Titolarità del credito, clausole, rischi legali

*Di chi è il credito? Il diritto prima del mercato.*

Il carbon farming, per funzionare davvero, non può fermarsi alle pratiche agronomiche e alla modellistica del carbonio. Ogni credito generato è un bene immateriale dotato di valore economico, e come tale deve essere attribuito a un soggetto ben preciso, regolato da contratti chiari e protetto da rischi di contenzioso e di greenwashing. Per chi opera come agronomo, forestale, perito agrario o consulente tecnico è quindi essenziale sapere chi "possiede" il credito quando proprietari, affittuari e contoterzisti coesistono sullo stesso fondo, quali clausole non possono mai mancare in un contratto di carbon farming e quali sono i principali rischi legali da riconoscere e prevenire.

## 13.1 Chi "possiede" il credito?

### 13.1.1 Proprietario del fondo, affittuario, contoterzista: ruoli distinti

In un'azienda agricola reale coesistono almeno tre figure giuridicamente ed economicamente distinte. Il **proprietario del fondo** è titolare del diritto di proprietà (o di un diritto reale assimilabile) sul terreno. L'**affittuario/conduttore** è il soggetto che utilizza il fondo e che, di norma, prende le decisioni sulla gestione colturale. Il **contoterzista** è il soggetto che esegue materialmente le lavorazioni — arature, semine, trattamenti, raccolte — per conto dell'azienda.

Applicato al carbon farming, questo si traduce così: il proprietario mette a disposizione il bene "terra"; il conduttore decide se adottare le pratiche rigenerative e ne sopporta il rischio agronomico; il contoterzista fornisce un servizio tecnico, normalmente senza assumersi rischi di lungo periodo sul progetto. È fondamentale non confondere questi tre ruoli quando si parla di titolarità dei crediti di carbonio: la confusione tra "chi possiede la terra" e "chi genera il credito" è la fonte più comune di contenzioso.

### 13.1.2 Tre modelli di base per la titolarità dei crediti

Poiché la normativa su chi "possiede" il credito è ancora in evoluzione, è la contrattualistica — non la legge — a dover definire la titolarità. Nella pratica si osservano tre modelli di riferimento.

| Modello | Meccanismo | Quando si usa | Punti critici |
|---|---|---|---|
| **A — Full ownership al conduttore** | Il soggetto che realizza le pratiche (di norma il conduttore) è l'unico titolare dei crediti, salvi accordi con il developer. Il proprietario concede l'uso del terreno e non rivendica diritti sui crediti. | Quando si vuole massima chiarezza e un forte incentivo diretto al conduttore ad adottare pratiche virtuose. | Se la durata dell'affitto è inferiore al periodo di progetto (es. affitto 5 anni, progetto 10-20 anni) servono clausole specifiche su subentro del nuovo conduttore ed eventuali indennizzi in caso di interruzione. |
| **B — Share tra agricoltore, proprietario e developer** | Il contratto definisce a priori una ripartizione percentuale dei crediti o dei proventi (es. 70% agricoltore / 30% developer, oppure 60% agricoltore / 20% proprietario / 20% developer). | Quando il proprietario investe in opere strutturali (impianti agroforestali, sistemazioni idrauliche) e si vuole riconoscergli un "premio" per aver messo a disposizione la terra a lungo termine. | Maggiore complessità contabile; servono clausole precise su modalità di calcolo, tempo di maturazione dei crediti e riparto delle eventuali perdite (reversal). |

| Modello | Meccanismo | Quando si usa | Punti critici |
|---|---|---|---|
| **C — Leasing del "diritto al credito"** | Il proprietario del fondo concede al developer o al conduttore un diritto esclusivo a generare e detenere i crediti su quel terreno per un periodo determinato (es. 10-20 anni), conservando la nuda proprietà del suolo. Analogia concettuale con l'usufrutto o il diritto di superficie, riferita però ai crediti ambientali. | In contesti di forte frammentazione fondiaria, per strutturare progetti di lungo periodo con diritti chiari ed esclusivi. | Richiede contratti più sofisticati; può risultare poco comprensibile all'agricoltore senza un'adeguata spiegazione tecnica preliminare. |

La scelta tra i tre modelli non è mai neutra: va calibrata sulla situazione fondiaria specifica (proprietà diretta o affitto, durata residua del contratto agrario, presenza di investimenti strutturali) e va sempre esplicitata per iscritto prima dell'avvio delle pratiche, non a posteriori.

### 13.1.3 Il contoterzista: un attore tecnico, non proprietario

Il contoterzista fornisce un servizio — semina di cover crops, lavorazioni a bassa intensità, distribuzione di compost — e viene remunerato per ettaro o per operazione eseguita. Di norma non ha diritti sui crediti generati, a meno che ciò non sia esplicitamente previsto contrattualmente.

Un'eccezione va tenuta presente: se il contoterzista è anche socio o partner del PoA, può avere una quota di ricavi in qualità di business partner, non in qualità di contoterzista. È quindi importante che i contratti chiariscano espressamente due punti: il contoterzista non vanta diritti sui crediti generati dalle operazioni che esegue, e il suo

compenso è il corrispettivo del servizio prestato, non una partecipazione automatica ai crediti del progetto.

## 13.2 Clausole chiave nei contratti di carbon farming

Per evitare conflitti e assicurare integrità al progetto, un contratto di carbon farming deve contenere almeno quattro blocchi di clausole: durata minima dell'impegno, accesso ai campi per l'MRV, gestione del reversal in caso di cambio pratica, indennizzi/penali/clausole di uscita.

### 13.2.1 Durata minima dell'impegno

Il carbon farming non è una campagna agronomica stagionale, ma un percorso pluriennale. Nel contratto vanno distinti tre orizzonti temporali: il periodo di implementazione delle pratiche (es. 10 anni di cover crops e no-till), il periodo di crediting, cioè gli anni in cui si generano e vendono effettivamente i crediti, e il periodo di permanenza, ossia il tempo minimo per cui si garantisce che il carbonio resterà stoccato nel suolo. Vanno considerati sia la durata del contratto di affitto del terreno, quando l'agricoltore è conduttore e non proprietario, sia gli eventuali vincoli imposti dallo standard metodologico (alcune metodologie richiedono un minimo di 10 anni di progetto). Buona pratica è prevedere che, in caso di vendita del fondo o di cambio del conduttore, il nuovo soggetto subentri automaticamente negli obblighi del contratto di carbon farming — la cosiddetta clausola di subentro.

### 13.2.2 Accesso ai campi per MRV

Il Monitoring, Reporting and Verification è il cuore della credibilità dei crediti, e il contratto deve disciplinarlo in modo puntuale. Deve prevedere il diritto del developer e dei verificatori terzi di accedere ai campi per rilievi visivi, campionamenti del suolo e misurazioni o controlli, e deve fissare le condizioni pratiche di questo accesso: un preavviso minimo (indicativamente 7-10 giorni), fasce orarie e periodi dell'anno preferenziali, l'obbligo di ripristino dei luoghi al termine del campionamento e la responsabilità per eventuali danni causati durante le ispezioni.

> **Per il tecnico** — Una clausola di accesso MRV mal scritta o assente è una delle cause più frequenti di stallo operativo nei PoA: l'agricoltore che "non lascia entrare il verificatore" può mettere a rischio la certificazione dell'intero programma, non solo della propria azienda. Verificare sempre che questa clausola sia presente, chiara ed effettivamente compresa dall'agricoltore prima della firma.

### 13.2.3 Cambio pratica e "reversal"

Un reversal si verifica quando il carbonio accumulato viene perso — ad esempio per erosione grave o per un'aratura profonda dopo anni di no-till — oppure quando le emissioni ridotte tornano a salire, ad esempio per la reintroduzione di alte dosi di fertilizzanti azotati o per l'eliminazione dell'AWD in risaia. Il contratto deve chiarire il divieto di tornare a pratiche che annullano i benefici ottenuti, salvo diverso accordo, l'obbligo di informare tempestivamente il developer in caso di necessità agronomiche straordinarie (lavorazioni di emergenza) o di cambiamenti strutturali (estirpazione di siepi agroforestali), e le conseguenze applicabili: l'eventuale restituzione dei crediti già venduti o del loro equivalente economico, la riduzione della quota di crediti futuri, fino all'esclusione dal progetto nei casi più gravi.

### 13.2.4 Indennizzi, penali e clausole di uscita

È la componente più delicata, ma necessaria. Vanno previsti scenari distinti. In caso di **uscita volontaria anticipata dell'agricoltore** (ad esempio dopo 3 anni su un impegno di 10), le soluzioni possibili includono una penale forfettaria, la restituzione di parte dei ricavi già percepiti o il blocco dei crediti futuri. In caso di **vendita del fondo a terzi**, il nuovo proprietario può subentrare nel contratto — opzione sempre preferibile — oppure rifiutare il subentro, nel qual caso servono clausole che disciplinino i danni arrecati al progetto. In caso di **fallimento o chiusura dell'azienda**, il developer deve poter cercare un nuovo conduttore o ridefinire baseline e scenario di progetto. In ogni caso, le penali non devono avere natura punitiva, ma essere proporzionate al danno potenziale sul progetto complessivo.

## 13.3 Rischi legali

I due rischi principali che un consulente tecnico deve saper riconoscere e prevenire sono il greenwashing con doppia vendita dei crediti, e le controversie tra proprietari e conduttori.

### 13.3.1 Greenwashing e doppia vendita

Il greenwashing si verifica quando si comunicano risultati climatici non reali o esagerati, quando si usano crediti di scarsa qualità per dichiarazioni di neutralità, oppure quando i crediti vengono venduti due volte — o utilizzati contemporaneamente sia per bilanci interni sia per la vendita a terzi. Per evitarlo occorre usare sempre standard riconosciuti (VM0042, Gold Standard e simili), registrare i crediti in un solo registro affidabile e assicurarsi che ogni credito abbia un seriale unico, che la vendita comporti l'annullamento formale del credito nel registro e che non esistano copie "parallele" tenute in fogli Excel o registri privati. Dal punto di vista contrattuale, deve essere sempre chiaro chi è autorizzato a vendere i crediti, e va vietato espressamente ogni canale di vendita "fuori canale" o ogni cessione dei crediti non coordinata con la CME/PoA di riferimento.

### 13.3.2 Controversie tra proprietari e conduttori

Sono uno dei rischi più concreti in un Paese come l'Italia, dove proprietà e gestione del fondo spesso non coincidono. I casi tipici sono due: il conduttore ha implementato le pratiche e generato crediti, ma l'affitto termina e il proprietario rivendica una parte dei crediti futuri o contesta le trasformazioni effettuate (siepi, filari, cambi di sistemazione); oppure il proprietario firma un contratto di carbon farming senza coinvolgere il conduttore, generando un conflitto di diritti tra i due soggetti. Per prevenire questi scenari conviene privilegiare accordi tripartiti — proprietario, conduttore, developer — almeno nei casi più complessi, inserire nel contratto di affitto agrario clausole specifiche su chi ha diritto a stipulare contratti di carbon farming, su come si ripartiscono gli eventuali ricavi e su cosa succede in caso di cambio del conduttore, ed evitare in ogni caso sovrapposizioni di contratti: un solo soggetto (CME/developer) deve

coordinare il progetto, e una sola filiera di vendita dei crediti deve essere attiva sul fondo.

## 13.4 Ruolo del tecnico: cosa deve saper fare, in pratica

Al termine di questo percorso, un agronomo, un forestale o un perito che opera nel carbon farming dovrebbe saper leggere una situazione fondiaria reale, distinguendo con chiarezza chi è proprietario, chi è conduttore e che ruolo ha il contoterzista; suggerire il modello contrattuale più adeguato tra full ownership al conduttore, revenue/credit sharing e leasing del diritto al credito; verificare la presenza delle clausole minime — durata, MRV e accesso, reversal, penali/uscita; segnalare i rischi legali evidenti, dal rischio di doppia vendita ai claim ambientali troppo ambiziosi, fino ai conflitti proprietario/conduttore non gestiti; e lavorare in squadra con legali e fiscalisti. Il tecnico non sostituisce l'avvocato, ma sa leggere le implicazioni agronomiche delle clausole, porta al tavolo negoziale i vincoli pratici del campo e contribuisce così alla scrittura di contratti realmente applicabili.

---



CAPITOLO 14

# Fiscalità dei crediti di carbonio agricoli

*Il credito di carbonio come reddito agrario.*

Il carbon farming non è solo agronomia, modelli SOC e MRV: è anche diritto, fiscalità, governance e contrattualistica. Perché un progetto sia solido, deve essere legalmente valido, fiscalmente corretto, contrattualmente robusto, compatibile con la PAC e conforme al quadro CRCF e agli standard internazionali di integrità come l'ICVCM, oltre che trasparente e difendibile di fronte a un controllo. Questo capitolo dà agli agronomi e ai tecnici le basi per operare con rigore su questo terreno, e per tutelare gli agricoltori che affidano loro il progetto.

## 14.1 Natura giuridica del credito di carbonio

Un primo chiarimento è indispensabile: il credito di carbonio non è un titolo finanziario, non è un derivato, non è una security, non è un titolo obbligazionario — alcuni Paesi lo interpretano diversamente, ma l'Unione Europea mantiene su questo punto una definizione chiara. Il credito è invece un bene immateriale digitale che certifica una rimozione o una riduzione di $CO_2$, verificata, monitorata e registrata secondo una metodologia riconosciuta, ed è vendibile come bene o servizio. Il credito di carbonio, in altre parole, è un prodotto ambientale certificato, e va trattato giuridicamente e fiscalmente come tale, non come uno strumento finanziario.

## 14.2 Quadro normativo europeo

Il quadro di riferimento europeo si articola su più livelli, tra loro complementari. Il **CRCF (Carbon Removal Certification Framework)** definisce gli standard minimi UE per la certificazione delle rimozioni di carbonio, attorno al criterio QUALITY (Quantification, Additionality, Long-term storage, Sustainability, Information, Trade, Young market safeguards): il suo impatto sul mercato italiano sarà notevole, perché richiederà un MRV molto più rigoroso di quello oggi diffuso. La **CSRD/ESRS** obbliga le imprese rientranti nel suo perimetro a dichiarare le emissioni di Scope 1, 2 e 3, a mostrare piani di decarbonizzazione e a indicare i crediti eventualmente acquistati, generando così una domanda strutturale di crediti agricoli di qualità documentabile. L'**EU ETS/ETS2** — con l'estensione ETS2 a carburanti ed edilizia — aumenterà la domanda di crediti agricoli per

compensazioni settoriali indirette. Il regime **CORSIA**, infine, genera una domanda forte di crediti agricoli da parte del settore dell'aviazione internazionale, in particolare da progetti su risaie (riduzione $CH_4$), agroforestazione e biochar.

## 14.3 Normativa italiana

A livello nazionale, la **PAC** stabilisce le regole sulle pratiche ammissibili attraverso il pacchetto degli eco-schemi: va tenuto presente, con attenzione critica, che non tutti gli eco-schemi sono compatibili con il principio di additionality richiesto dagli standard carbon. Il **PSR** è lo strumento di finanziamento più rilevante per sostenere la transizione verso cover crops, agricoltura conservativa e agroforestazione. Esiste inoltre un **Registro italiano dei crediti forestali**, oggi attivo per le attività forestali ma non per quelle erbacee: il bambù gigante non rientra nella categoria forestale e ricadrà quindi nella futura sezione agricola del registro, una volta istituita — un'opportunità normativa ancora da cogliere per l'Italia.

## 14.4 Fiscalità dei crediti di carbonio

Sul piano delle imposte dirette, il quadro è cambiato radicalmente con la riforma IRPEF-IRES. Il decreto legislativo 13 dicembre 2024, n. 192 e la circolare dell'Agenzia delle Entrate n. 12/E dell'8 agosto 2025 hanno stabilito che i crediti di carbonio ottenuti mediante la cattura di $CO_2$, debitamente certificati, sono beni — anche immateriali — riconducibili alle attività agricole. La nuova lettera b-ter) dell'articolo 32, comma 2, del TUIR include infatti tra le attività produttive di reddito agrario «le attività dirette alla produzione di beni, anche immateriali, realizzate mediante la coltivazione, l'allevamento e la silvicoltura che concorrono alla tutela dell'ambiente e alla lotta ai cambiamenti climatici». Prima della riforma, i proventi della cessione di crediti di carbonio erano invece trattati come reddito d'impresa (interpello n. 365 del 2020).

Il meccanismo è a due livelli. Fino a concorrenza di un limite — il cosiddetto «limite di agrarietà», pari all'ammontare dei corrispettivi delle cessioni di beni (registrate o soggette a registrazione ai fini IVA) derivanti dalle attività agricole di cui all'articolo 2135 del codice civile

— i ricavi dalla cessione dei crediti di carbonio sono assorbiti dal reddito agrario e tassati su base catastale (imposizione «semplificata»). La parte eccedente il limite concorre invece al reddito d'impresa, determinata in modo forfettario applicando il coefficiente di redditività del 25% ai corrispettivi eccedenti (nuovo comma 3-ter dell'articolo 56-bis del TUIR).

> Per il tecnico — Due condizioni pratiche e un esempio. Primo: i crediti devono essere «debitamente certificati» per rientrare nel regime agevolato. Secondo: se sono venduti in un anno diverso da quello di produzione, il limite di agrarietà si calcola nell'anno di cessione. Esempio: un'azienda con 100.000 € di corrispettivi da cessioni di beni agricoli che vende crediti di carbonio per 110.000 € tassa 100.000 € su base catastale e i 10.000 € eccedenti come reddito d'impresa, pari a 2.500 € (25% di 10.000). Le nuove regole si applicano ai redditi prodotti a partire dal periodo d'imposta 2024.

Sul fronte IVA, la dottrina italiana è divisa tra tre possibili inquadramenti: prestazione di servizi ambientali (IVA 22%), cessione di bene immateriale (IVA 22%), oppure operazione non territorialmente rilevante quando il buyer è un soggetto estero extra-UE. In pratica, nella grande maggioranza dei casi l'aliquota applicata è il 22%.

Un caso particolare è l'assegnazione di crediti a una filiera agroalimentare, il cosiddetto **insetting**: viene trattata come una prestazione di servizio ambientale, distinta dalla vendita di crediti sul mercato aperto.

## 14.5 Contrattualistica del carbon farming

È la parte più delicata dell'intero impianto: un errore contrattuale in questo ambito comporta un rischio legale rilevante, non solo economico. Tre tipologie contrattuali meritano particolare attenzione.

Il **contratto CME–agricoltore** deve includere: durata (indicativamente 10-20 anni), elenco delle pratiche obbligatorie, obbligo di MRV,

gestione dei dati e della privacy, diritto di recesso, gestione del reversal, responsabilità reciproche delle parti, audit annuali e criteri di esclusione — elementi già approfonditi, dal lato delle clausole operative, nel Capitolo 13.

L'**ERPA (Emission Reduction Purchase Agreement)**, il contratto con il buyer finale, deve definire prezzo, quantità attese, percentuale di buffer, tempi di consegna, penali per non-compliance, garanzie sull'integrità dell'MRV, meccanismi assicurativi o di copertura del reversal, e i claim che il buyer è autorizzato a comunicare pubblicamente — un punto essenziale per evitare che sia il buyer, e non il developer, a esporsi a un rischio di greenwashing.

I **contratti MRV**, infine, sono contratti di appalto di servizi tecnici e devono garantire protezione dei dati raccolti e assenza di conflitto di interesse, prevedendo un auditor realmente indipendente dal developer e dalla CME.

## 14.6 Greenwashing e responsabilità legale

L'Unione Europea sta introducendo la **Green Claims Directive**, che restringerà in modo sostanziale la possibilità per le aziende di dichiararsi "carbon neutral" senza disporre di crediti ad alta integrità, di un sistema MRV trasparente, di un audit indipendente e di prove documentali complete. Chi sviluppa progetti di carbon farming deve quindi garantire, come requisito minimo, l'antimanipolazione dei dati raccolti, la conservazione strutturata dei documenti di progetto, l'adozione di standard robusti (VM0042 combinato con i requisiti CRCF) e l'assenza di doppio conteggio dei crediti generati.

## 14.7 Integrazione con politiche agricole

Un tema ricorrente è la possibilità di cumulare i finanziamenti PAC con i ricavi da carbon farming: la risposta dipende dal caso specifico. Se la pratica è già finanziata integralmente da un contributo pubblico, viene meno il principio di additionality e il cumulo non è ammissibile; se il contributo PAC è solo parziale, l'additionality può essere riconosciuta in modo condizionato. Il **PSR** resta lo strumento più efficace per

accompagnare la transizione verso il no-till, l'introduzione di cover crops, l'impianto di sistemi agroforestali e l'acquisto dei macchinari necessari. Un ulteriore canale di valorizzazione è rappresentato dalle **filiere agroalimentari** in logica di insetting: i crediti generati in azienda possono essere acquistati da mulini, pastifici, cantine, aziende lattiero-casearie e dalla grande distribuzione per compensare i propri Scope 3 — come nel caso, spesso citato come riferimento, di un'azienda alimentare che finanzia l'adozione di cover crops presso i propri fornitori agricoli in cambio dei crediti generati.

> **Sintesi finale** — Il carbon farming richiede rigore legale, non solo competenza agronomica. Il credito di carbonio è un bene immateriale e segue regole fiscali precise, ancora in via di consolidamento. I contratti devono prevenire reversal, dispute e greenwashing fin dalla fase di progettazione. Il CRCF cambierà in profondità il mercato, premiando qualità, trasparenza e permanenza. Forever Bambù può essere tra le prime strutture italiane a offrire un pacchetto completo — governance tramite PoA, MRV digitale, legalità contrattuale, supporto fiscale, accesso ai buyer corporate europei.

*I contenuti fiscali e legali di questo capitolo hanno finalità informativa e divulgativa e riflettono un quadro normativo — europeo e italiano — ancora in evoluzione. Non sostituiscono in alcun caso la consulenza di un commercialista o di un legale qualificato, a cui è necessario rivolgersi prima di strutturare o firmare qualsiasi contratto di carbon farming.*



CAPITOLO 15

# Marketing climatico e claim di filiera

Cosa è lecito dire

*Dire il vero: comunicare senza greenwashing.*

Il marketing climatico efficace non vende crediti: vende fiducia. Trasforma pratiche agronomiche e numeri di monitoraggio (MRV, LCA, seriali dei crediti) in storie verificabili, coerenti con le regole UE e con le aspettative dei buyer professionali. La promessa comunicata deve essere misurabile, tracciabile e contestualizzata — a un prodotto specifico, a un'annata o vintage, a un lotto, a un appezzamento. Per il tecnico e il consulente che affiancano un'azienda agricola o una filiera, questo capitolo fornisce gli strumenti operativi per trasformare un progetto di Carbon Farming certificato in una comunicazione che regge alla prova del regolatore, del buyer e del cliente finale.

## 15.1 Dal dato alla storia

Il racconto di un progetto di Carbon Farming segue una pipeline in cinque passaggi, sempre nello stesso ordine: si parte da una **pratica certificata** (cover crop, no-till, biochar, agroforestazione), la si documenta con un'**evidenza MRV** (monitoraggio digitale, campionamento del suolo, modellistica), la si traduce in **KPI chiari** ($tCO_2e$/ha, $tCO_2e$ per unità di prodotto, percentuale di riduzioni rispetto a rimozioni, vintage di riferimento), la si formula in una **promessa (claim)** con parole comprensibili al pubblico target, e la si ancora a una **prova pubblica** — un QR code che rimanda al registro dei crediti e ai documenti di verifica: seriale, standard, metodologia, verificatore, vintage. Saltare uno di questi passaggi — in particolare l'ultimo — è la causa più frequente di claim contestabili.

Per l'agroalimentare si possono individuare tre archetipi narrativi ricorrenti, utilizzabili come traccia per costruire il posizionamento di un'azienda o di una filiera: la **rigenerazione del suolo** ("da terreno stanco a suolo vivo: più sostanza organica, più biodiversità, più resilienza"), la **filiera responsabile** ("dal campo alla tavola, trasparenza per lotto e annata") e il **territorio resiliente** ("alberi, siepi e acqua trattenuta in campo: adattamento climatico misurabile").

Applicati alle categorie di prodotto più rilevanti per l'agroalimentare italiano, questi archetipi diventano claim di prodotto concreti. Per il **latte**: "per ogni litro, emissioni residue X $kgCO_2e$, ridotte in stalla e compensate con rimozioni certificate (CCP-eligible) sul nostro territorio", con link a scheda progetto e seriali. Per il **vino**: "vigneti

inerbiti, siepi e biochar dalle potature; per il vintage 2024, emissioni residue per bottiglia Y kg$CO_2$e, neutralizzate con rimozioni locali verificate". Per i **cereali**: "grano rigenerativo — cover crop, no-till, riduzione di $N_2O$; per la partita n. ####, Z kg$CO_2$e/ton, quota residua rimossa con crediti CCP-eligible". In tutti i casi lo schema comunicativo è identico: pratica, numero, tipo di credito, prova.

> **Per il tecnico** — La prova "che si vede" (QR o landing dedicata) deve mostrare sempre: confini LCA, anni di riferimento, t$CO_2$e per unità di prodotto, mix crediti (reduction/removal, standard, seriali, Paese, vintage), verificatore, sintesi della metodologia. Questo allinea la comunicazione agli standard di integrità ICVCM/VCMI ed evita il greenwashing. La UE sta introducendo i Digital Product Passport in diversi settori: anche dove non ancora obbligatorio per il food, replicarne la logica — QR con dati verificabili — aumenta la credibilità e prepara la filiera alla trasparenza che diventerà standard.

## 15.2 Reduction vs removal: perché conta per i buyer

Nella comunicazione dei crediti climatici è essenziale distinguere tre categorie, spesso confuse nella pratica: la **reduction** è una diminuzione delle emissioni nella catena del valore (es. meno $N_2O$ da fertilizzanti, meno $CH_4$ da risaia o stalla); la **removal** è una rimozione fisica di $CO_2$ dall'atmosfera con stoccaggio (carbonio organico del suolo, agroforestazione, biochar); l'**avoidance** è un'emissione evitata rispetto a uno scenario controfattuale, categoria più discussa e meno solida.

I buyer più esigenti chiedono removal perché rappresenta un beneficio climatico netto e tangibile: i quadri ICVCM e VCMI, insieme a molte policy aziendali dei clienti, tendono a premiarla sia in termini di prezzo sia di reputazione. Va inoltre ricordato che lo SBTi mantiene come priorità assoluta la riduzione delle emissioni in linea con la traiettoria di 1,5°C: i crediti — anche di removal — si collocano nello schema come *Beyond Value Chain Mitigation*, cioè strumento per neutralizzare i residui nel percorso verso il net-zero, non come sostituto della riduzione.

Per il consulente che deve posizionare un progetto è utile distinguere anche per tipologia di origine: i crediti **agricoli** (SOC, biochar, agroforestazione) hanno una forte connessione con le filiere food & beverage, portano co-benefici su suolo e biodiversità e offrono una buona "prossimità di racconto" con il prodotto finale; i crediti **forestali** offrono rimozioni a lungo termine ma richiedono attenzione al rischio di non-permanenza; i crediti industriali di **CDR** (cattura diretta dall'aria, mineralizzazione) garantiscono permanenza altissima a costo elevato, con uno storytelling meno legato alla filiera ma utile per le quote residuali difficili da abbattere.

Un'opzione a parte: la mitigazione interna (insetting). Non tutti i progetti nascono per «vendere crediti». Un'azienda può realizzare la propria foresta di bambù e usarla come attività di mitigazione interna secondo la ISO 14064-2, portandone il beneficio in detrazione diretta delle emissioni della propria organizzazione calcolate con la ISO 14064-1. In questo modello il carbonio non diventa un credito venduto sul mercato, ma una riduzione dentro il perimetro dell'azienda (insetting): è la via con il minor rischio sul fronte dei green claims, perché non si affaccia su un claim di prodotto «compensato» ma su una riduzione reale e verificata del proprio inventario. È un modello già praticato in Italia (ad esempio con clienti industriali che internalizzano il proprio assorbimento) e va proposto quando il cliente vuole agire sulla propria impronta più che acquistare crediti da rivendere.

## 15.3 Prodotti e claim concreti: cosa è lecito dire

Il perimetro normativo europeo va rispettato in modo puntuale. La Direttiva (UE) 2024/825 modifica le regole sulle pratiche commerciali scorrette e vieta i claim ambientali generici — "eco", "climate friendly", "carbon neutral" — se non adeguatamente dimostrati, con particolare attenzione ai claim basati solo su compensazione; gli Stati membri devono recepirla e applicarla entro il 2026. La (ex) Green Claims Directive è stata ritirata dal percorso legislativo nel 2025, ma l'indirizzo politico resta lo stesso: stop al greenwashing, verifica indipendente, LCA solida — un quadro da aggiornare sempre con il proprio consulente legale. Lo standard **ISO 14068-1** sulla carbon neutrality è oggi il riferimento più citato per formulare correttamente

un claim di neutralità: richiede riduzioni prioritarie, gestione dei residui con crediti di qualità e un report di trasparenza su perimetro e basi del claim.

Una matrice sintetica aiuta a distinguere ciò che è lecito da ciò che non lo è.

**Carbon neutral (prodotto).** DO: "Emissioni residue 0,38 kg$CO_2$e/bottiglia (LCA 2024, confine cradle-to-shelf). Residui neutralizzati con crediti removal CCP-eligible (seriali ####, progetto e standard indicati, verificatore indicato). Dettagli via QR." DON'T: "Climate neutral" senza confini, dati, seriali o basato solo su compensazione generica.

**Climate positive.** DO: usare l'espressione solo se le rimozioni certificate eccedono le emissioni residue del perimetro dichiarato, mostrando il calcolo nel QR. DON'T: claim generico senza perimetro né prova quantitativa.

**Net zero (azienda).** DO: "In linea con SBTi Net-Zero (obiettivi 2030/2040, traiettoria 1,5°C). Residui neutralizzati con rimozioni high-integrity. Stato di avanzamento nel report 2024." DON'T: "Net zero" dichiarato solo tramite acquisto di crediti, senza target né riduzioni lungo la catena del valore.

Una checklist minima per un claim conforme comprende sempre: confini (prodotto o azienda; LCA e anno di riferimento), dato numerico (intensità per unità o totale per vintage), tipo di credito (reduction/removal/avoidance) con standard, registro, seriale e vintage, verificatore terzo e metodologia, link pubblico (QR) e contatti per audit da parte dei clienti.

> Per il tecnico — Vendere ex-ante e il D.Lgs. 30/2026: cosa è lecito. È la domanda che genera più confusione. Il decreto non regola la vendita dei crediti (è una transazione tra imprese) né la loro vintage: vendere assorbimenti futuri stimati e validati da un ente terzo abilitato (RINA, Sustany) è legittimo, e la verifica di terza parte è anzi la «prova» che il decreto richiede perché un claim a valle sia lecito. Ciò che il decreto regola è il claim rivolto al consumatore. Quindi: (1)

sì, si può vendere ex-ante; (2) l'azienda che compra può usare i crediti, ma non per dire «prodotto carbon neutral perché compensato» (vietato di per sé) né per spacciare come già assorbito ciò che è futuro e stimato — può invece usarli a livello di organizzazione (percorso di neutralità ISO 14068), come contribution claim «contribuiamo a X tonnellate di rimozioni certificate» o in insetting di filiera; (3) il divieto sulle «prestazioni ambientali future» colpisce le promesse vaghe di un'azienda su sé stessa senza piano verificabile, non la vintage ex-ante del credito — ma obbliga a comunicare l'ex-ante come «impegno / stima verificata», non come «risultato già raggiunto».

## 15.4 Packaging, QR e canali

La scheda digitale collegata al QR dovrebbe sempre includere: confini LCA, anno/vintage, intensità climatica per unità, mix crediti (tipo, standard, seriali, progetto, Paese, vintage), co-benefici, verificatore, contatti. Buone pratiche aggiuntive sono un micro-glossario dei termini tecnici, una sezione "perché usiamo rimozioni" e una mappa interattiva dei campi/progetti coinvolti.

Per canale, la comunicazione va adattata mantenendo lo stesso impianto di dati: in **GDO** una "climate spec" in etichetta di ripiano o su end-cap con QR; in **HoReCa** una riga clima per referenza in carta vini o menù (annata, $kgCO_2e$/bottiglia, link); in **e-commerce** una scheda prodotto con tab dedicato "Impatto & Crediti" che riporta i dati chiave e il link al registro, in coerenza con ICVCM/VCMI.

Alcuni esempi di claim riscritti, pronti all'uso: per una **bottiglia di latte da 1 L** — "0,82 $kgCO_2e$/L (LCA 2024, allevamento + trasformazione + distribuzione). Residuo neutralizzato con crediti removal CCP-eligible (seriali ####, progetto di agroforestazione EU 2024), verificati da [VVB]. Dettagli nel QR." Per un **vino IGT vendemmia 2024** — "1,25 $kgCO_2e$/bottiglia (cradle-to-shelf). Riduzioni in vigna (cover crop, inerbimento, riduzione azoto), rimozioni con biochar da potature e crediti CCP-eligible (seriali ####). Scheda vintage nel QR." Per una **pasta in formato 500 g** — "0,42 $kgCO_2e$/confezione. Filiera grano duro rigenerativa (cover + no-till).

Residuo neutralizzato con crediti removal SOC EU 2024 (seriali ####). Approfondisci nel QR." In tutti i casi vanno evitate diciture generiche come "climate neutral" prive di confini, numeri e prova di neutralizzazione dei residui.

> **Attenzione** — Un "proof kit" completo, da tenere sempre pronto prima di pubblicare qualunque claim, comprende sette elementi: confini e anno (LCA), intensità climatica per unità o vintage, riduzioni in filiera documentate con numeri, dettaglio dei crediti (tipo, standard, seriali, vintage, Paese), verifica da parte di un VVB con standard di riferimento, QR pubblico verso landing trasparente, e una policy claim interna che stabilisca chi approva il claim, dove viene usato e per quanto tempo resta valido.

## 15.5 Errori tipici e playbook operativo

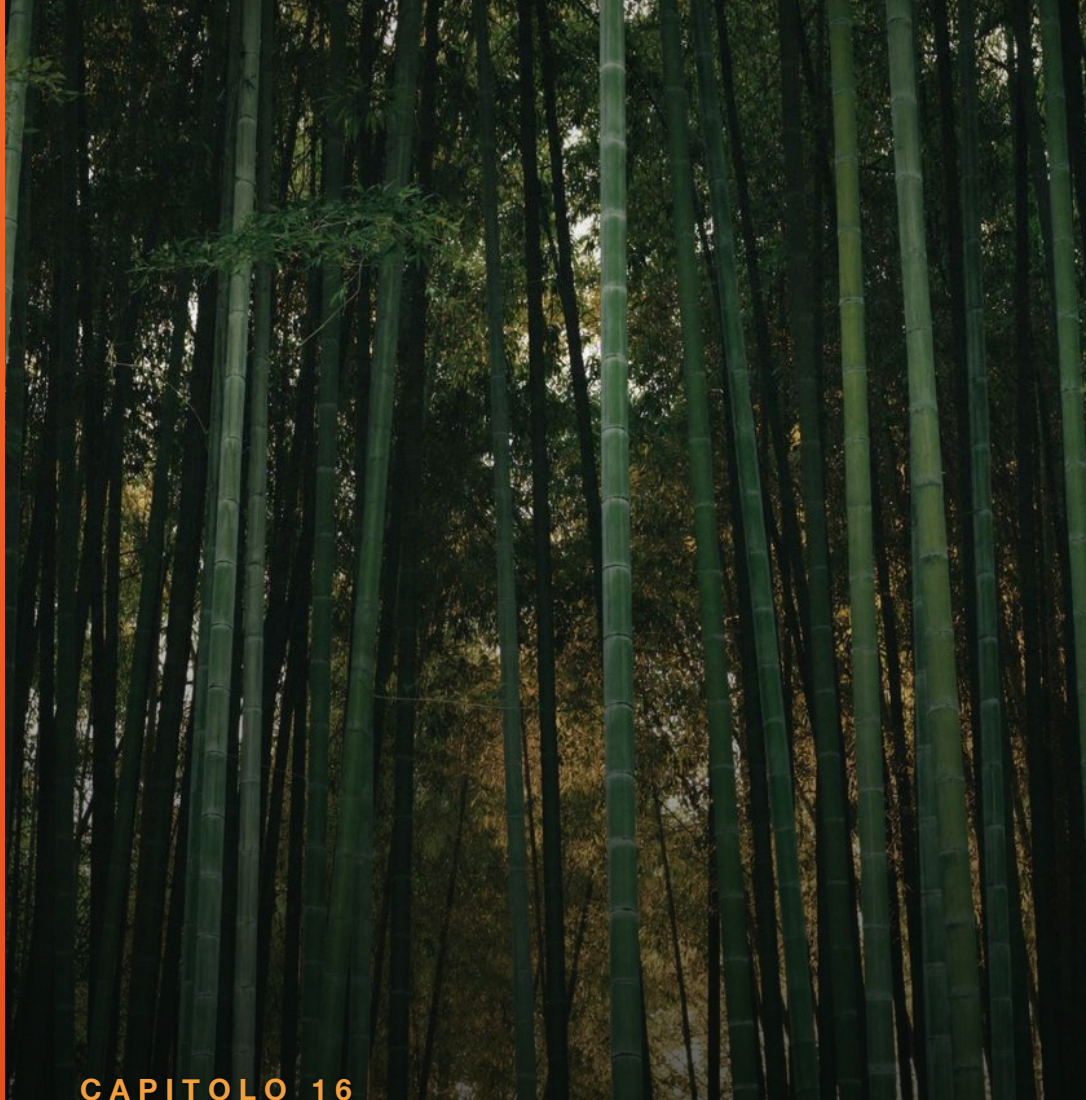
Gli errori più frequenti da evitare sono: dichiarare "carbon neutral" di prodotto usando solo la compensazione, senza riduzioni documentate (rischio concreto di sanzioni o ritiro del claim); omettere seriali e vintage dei crediti; confondere nella descrizione riduzioni e rimozioni; riutilizzare tal quale sul prodotto un claim corporate, senza una LCA di prodotto dedicata; pubblicare schede e-commerce senza prova né verificatore indicato.

Il playbook operativo si riassume in cinque passaggi: decidere il perimetro del claim (prodotto o corporate); allineare la narrazione ai dati MRV e agli standard di riferimento (ICVCM, VCMI, SBTi, ISO 14068-1); preparare la prova, cioè il QR con seriali dei crediti e LCA; costituire un team marketing-legale-tecnico che approvi ogni claim prima della pubblicazione; attivare i canali (GDO, HoReCa, e-commerce) con materiali coerenti tra loro; misurare infine l'impatto della comunicazione — reach, conversione, eventuale premium price, fedeltà del cliente.

---

Sul lato della domanda, lo SBTi Corporate Net-Zero Standard V2 (giugno 2026) ha chiarito che i crediti di carbonio ad alta integrità

valgono come complemento, non come sostituto, della riduzione delle emissioni aziendali, e ha introdotto un programma volontario di responsabilità sulle emissioni ancora in essere. Per un progetto di Carbon Farming questo rafforza il valore delle rimozioni certificate rispetto alle semplici riduzioni, e rende centrale, nel claim, la distinzione netta tra le due — coerente con quanto lo standard VM0042 già impone.



CAPITOLO 16

# Prodotti legnosi e bambù di lunga durata

La quantificazione dettagliata

*Il carbonio che diventa materiale che dura.*

Il Registro pubblico dei crediti di carbonio agricolo e forestale, istituito dal DM MASAF–MASE del 15 ottobre 2025 e gestito da CREA, non riguarda solo pratiche in campo: include tra le attività ammissibili anche i **prodotti legnosi di lunga durata**, cioè legname impiegato in usi strutturali con durata minima ≥ 35 anni e materiale di provenienza nazionale. È una categoria che il Volume 1 accenna solo di sfuggita — nel quadro del Regolamento CRCF — senza affrontarne la quantificazione. Questo capitolo la sviluppa in modo tecnico e operativo, perché rappresenta un meccanismo diverso, per logica giuridica, da tutto il Carbon Farming agricolo trattato finora: non richiede baseline né addizionalità.

## 16.1 La base: quanto legno "nobile" produce l'Italia

Il prelievo annuo di legno in Italia, secondo i dati del Tavolo di filiera foresta-legno del MASAF, è dell'ordine di **15,4 milioni di m³**, di cui circa il 70% (~10,8 milioni di m³) va a legna da ardere e biomassa energetica, e il restante 30% (~4,6 milioni di m³) è legname da industria (tondo industriale). All'interno di questo tondo industriale, una stima ragionata — che incrocia la struttura tipica UE, il peso del pioppo italiano in pannelli e compensati, e il ruolo di edilizia e arredo — ripartisce circa il 25% (~1,15 milioni di m³/anno) in edilizia strutturale e semistrutturale (travi, lamellare, X-lam, perline, carpenteria) e circa il 30% (~1,4 milioni di m³/anno) in mobili, arredo, pannelli di qualità, serramenti e parquet. La somma di questi due blocchi — **circa 2,5 milioni di m³/anno** — costituisce il volume di legno italiano che entra ogni anno in prodotti potenzialmente di lunga durata (≥ 35 anni), la base di calcolo per tutto ciò che segue.

| Categoria | Volume stimato | % | Destinazione |
|---|---|---|---|
| Legna da ardere / biomassa energetica | ~10,8 mln m³ | ~70% | Energia domestica e biomassa |
| Legname da industria (tondo da opera) | ~4,6 mln m³ | ~30% | Edilizia, pannelli, arredo, imballaggi, carta |

| Settore (dentro il legname industriale) | % | Volume ($m^3$/anno) |
|---|---|---|
| Edilizia strutturale / semistrutturale | ~25% | ~1,15 mln $m^3$ |
| Arredo, parquet, pannelli di qualità | ~30% | ~1,4 mln $m^3$ |
| Imballaggi (pallet, casse) | ~25% | ~1,15 mln $m^3$ |
| Carta / polpa / usi brevi | ~20% | ~0,9 mln $m^3$ |

## 16.2 Il fattore di conversione: quanta $CO_2$ stocca un $m^3$ di prodotto legnoso

Il passaggio da volume di legno a $CO_2$ stoccata usa un fattore tecnico consolidato in letteratura (Università di Amburgo, IPCC): **1 $m^3$ di legno ≈ 0,9 $tCO_2$ stoccata nel prodotto**. Il calcolo che lo sostiene è semplice — un metro cubo di legno pesa circa 500 kg, di cui il 50% è carbonio (250 kg C), e ogni kg di carbonio corrisponde a 3,67 kg di $CO_2$ (rapporto tra i pesi molecolari), per un totale di circa 917 kg, arrotondato in modo prudenziale a 0,9 $tCO_2/m^3$.

Applicando questo fattore al volume annuo di legno italiano in usi nobili (2,5 milioni di $m^3$): 2,5 milioni $m^3$ × 0,9 $tCO_2/m^3$ = **2,25 milioni di $tCO_2$/anno** di stock biogenico lordo. È lo stock "extra-bosco" che si somma al carbonio già contabilizzato nella biomassa forestale — un valore che ISPRA riconosce come componente distinta nei bilanci nazionali del carbonio.

## 16.3 Come si applica il buffer

Il DM e le relative Linee guida per il Registro richiedono, per i prodotti legnosi di lunga durata, un **buffer di rischio del 5–10%**: una quota di crediti che va accantonata e non può essere venduta, a copertura del rischio di rilascio anticipato del carbonio (es. demolizione, incendio, smaltimento improprio prima del termine dei 35 anni). Applicato allo stock lordo di 2,25 $MtCO_2$/anno:

- con buffer al 5%: 2,25 × 0,95 = **2,14 $MtCO_2$/anno**
- con buffer al 10%: 2,25 × 0,90 = **2,03 $MtCO_2$/anno**

Il potenziale netto lordo (prima della detrazione delle emissioni di processo) si colloca quindi in un intervallo di **circa 2,0–2,14 $MtCO_2$/anno**.

## 16.4 La detrazione delle emissioni di processo (LCA A1–A5)

A differenza del Carbon Farming agricolo, dove la componente di addizionalità è il vincolo principale, per i prodotti legnosi di lunga durata il DM impone una detrazione diversa: le **emissioni del ciclo di vita fino al cantiere**, corrispondenti ai moduli A1–A5 della LCA — raccolta ed esbosco, prima trasformazione, essiccazione, segagione/incollaggio/finiture, trasporto in fabbrica, trasporto in cantiere, posa in opera.

> **Approfondimento tecnico** — Dalle EPD (Environmental Product Declaration) europee medie dei prodotti legnosi si ricavano ordini di grandezza distinti per tipologia: CLT ~100–150 $kgCO_2/m^3$, lamellare ~120–180 $kgCO_2/m^3$, pannelli e parquet ~80–150 $kgCO_2/m^3$. Una stima prudenziale e conservativa, usata come media di riferimento nel calcolo del credito netto, è **0,15 $tCO_2/m^3$**.

Applicando questo valore al volume complessivo di prodotti nobili: 2,5 milioni $m^3$ × 0,15 $tCO_2/m^3$ = **0,375 $MtCO_2$/anno** da sottrarre allo stock netto di buffer.

## 16.5 Il credito netto: la sequenza di calcolo completa

Il percorso di quantificazione per un progetto di prodotti legnosi di lunga durata segue quindi quattro passaggi in sequenza fissa:

1. **Stock biogenico lordo** = volume di prodotto ($m^3$) × 0,9 $tCO_2/m^3$
2. **Meno buffer di rischio** (5–10%, secondo le Linee guida del Registro)
3. **Meno emissioni di processo A1–A5** (LCA di produzione, trasformazione, trasporto, posa)

4. **= Credito netto accreditabile**

Applicata all'intero potenziale italiano: 2,25 $MtCO_2$ (stock lordo) → 2,03 –2,14 $MtCO_2$ (dopo buffer) → **~1,6–1,8 milioni di $tCO_2$/anno** (dopo detrazione delle emissioni di processo). Questo è l'ordine di grandezza del mercato teorico massimo dei crediti annuali generabili in Italia da prodotti legnosi nazionali a lunga durata, qualora l'intera quota di usi nobili venisse certificata attraverso il Registro CREA.

> **Attenzione** — Va tenuto distinto con precisione: nel Carbon Farming agricolo trattato nei capitoli precedenti di questo volume, il credito richiede sempre una baseline e la dimostrazione di addizionalità rispetto a uno scenario controfattuale. Per i prodotti legnosi di lunga durata **la baseline è pari a zero e l'addizionalità non è richiesta**: l'intero stock biogenico del prodotto, al netto di buffer ed emissioni di processo, è eleggibile alla quantificazione dei crediti. È una differenza procedurale sostanziale che va spiegata con chiarezza a un cliente abituato alla logica dei progetti agricoli.

## 16.6 La filiera target: chi lavora davvero questo volume

Per un consulente o un project developer, capire quante e quali imprese "toccano" fisicamente questo flusso di materiale è importante quanto la quantificazione tecnica. I dati ISTAT/INAIL sui codici ATECO 16 (industria del legno, esclusi mobili) e 31 (fabbricazione di mobili) indicano, nel 2023, circa 20.406 imprese attive nel settore legno e 15.177 nel settore mobili, per un totale di circa **35.600 imprese attive**; Confartigianato, su base di imprese registrate, arriva a ~54.000 imprese e 216.000 addetti. Di queste, l'ordine di grandezza delle imprese effettivamente orientate agli usi durevoli (edilizia strutturale, carpenteria, serramenti, pannelli di qualità, arredo) è stimabile in **~22.000–23.000 imprese**.

Geograficamente la filiera è fortemente concentrata al Nord: la Lombardia è la prima regione per fatturato legno-arredo (~10,8 miliardi €, oltre 8.600 imprese, più di 53.000 addetti), seguita da Veneto, Friuli-Venezia Giulia, Trentino-Alto Adige, Marche, Piemonte e

Toscana. Nel segmento specifico dell'edilizia in legno, il Trentino-Alto Adige pesa per il 21% del valore di produzione nazionale, la Lombardia per il 18%, il Veneto per il 10%. Per struttura dimensionale, il settore è fortemente polverizzato — 51.497 imprese registrate, 41,3 miliardi € di fatturato nel 2024, il 64,6% imprese artigiane — ma con una parte significativa del fatturato concentrata in poche centinaia di operatori medio-grandi, in particolare nel comparto dell'edilizia in legno ingegnerizzato (CLT, lamellare), dove le aziende con fatturato oltre 20 milioni € crescono più velocemente e si aggiudicano i bandi più rilevanti. Per un progetto di filiera, il target realistico non sono le decine di migliaia di imprese del comparto, ma un nucleo di **poche centinaia di aziende** nell'edilizia in legno ingegnerizzato e nell'arredo/pannelli di fascia medio-alta, concentrate nei cluster Lombardia, Triveneto, Marche e Toscana.

## 16.7 Il bambù gigante in questo quadro

Per i dati di sequestro del bambù gigante per ettaro, vedi Volume 1 §9.3 (dell'ordine di 264 t $CO_2$/ha·anno di accumulo lordo di stock in fase di crescita). Questo capitolo non li ricalcola: il tema qui è diverso e specifico — la quantificazione per **unità di prodotto lavorato** ($m^3$ di materiale strutturale, $m^2$ di parquet o pannello), che è la metrica rilevante per l'accesso al meccanismo del Registro CREA sui prodotti legnosi di lunga durata, e che il Volume 1 non tratta.

Il punto di ingresso è semplice: per come è formulato oggi il DM, il bambù gigante italiano può accedere a questo meccanismo perché il decreto richiede solo cinque condizioni — **durata d'uso ≥ 35 anni, stoccaggio verificabile, materiale di provenienza nazionale, applicazione del buffer 5–10%, detrazione delle emissioni di processo e tracciabilità/MRV** — e non richiede né baseline né addizionalità, a differenza di ogni progetto di Carbon Farming agricolo descritto nei capitoli precedenti di questo volume. Il bambù coltivato in Italia, se lavorato in prodotti strutturali o di finitura con vita utile dimostrabile oltre i 35 anni, soddisfa per costruzione il requisito di origine nazionale, ed è quindi candidabile allo stesso identico framework di calcolo — stock lordo per unità di prodotto, meno buffer, meno LCA A1-A5 — applicato in questo capitolo al legno tradizionale.

Sul piano qualitativo, il materiale presenta due caratteristiche rilevanti per chi dovrà applicare questa metodologia a un prodotto reale: una **densità e uno stock di carbonio per unità di volume superiori a quelli medi del legno strutturale tradizionale**, che a parità di $m^3$ di prodotto finito porta a un valore di stock biogenico lordo più favorevole nel primo passaggio del calcolo (§16.5, punto 1); e **processi produttivi — laminazione, pannellatura, produzione di parquet — tendenzialmente più efficienti**, con emissioni A1–A5 relativamente contenute rispetto alla filiera del legno strutturale convenzionale, il che riduce la detrazione al punto 3 dello stesso calcolo. La combinazione dei due fattori rende, in linea di principio, il credito netto per unità di prodotto potenzialmente più favorevole per il bambù rispetto al legno tradizionale — ma la quantificazione puntuale ($tCO_2$ per $m^3$ o per $m^2$ di uno specifico prodotto Forever Bambù, con relativa EPD) richiede uno studio dedicato, prodotto per prodotto, che allo stato non è ancora stato svolto e che costituisce il passo tecnico successivo per l'azienda.

> **Per il tecnico** — Se un cliente chiede "quanti crediti genera un $m^2$ di parquet in bambù", la risposta corretta oggi non è un numero, ma un metodo: applicare al prodotto specifico la sequenza a quattro passaggi del §16.5, usando lo stock di carbonio reale del materiale (da misurazione o EPD di prodotto, non il dato per ettaro del Volume 1, che è una metrica agricola e non di prodotto lavorato), il buffer 5–10% previsto dal Registro, e le emissioni A1–A5 specifiche del processo produttivo impiegato. Fino a quando questo studio di prodotto non è disponibile, qualunque cifra a $m^3$ o $m^2$ per il bambù resta una stima da non comunicare come dato certificato.

---



CAPITOLO 17

# Economia forestale

Costi e ricavi degli interventi

*Costi e ricavi del bosco che lavora.*

Il Registro pubblico dei crediti di carbonio forestale (DM MASAF–MASE, gestito da CREA) ammette una serie definita di interventi selvicolturali, ciascuno con un proprio profilo tecnico, un tempo di permanenza del carbonio e una logica di credito differente. Per il consulente forestale è la tabella di riferimento operativa: prima di proporre un progetto a un proprietario, è da qui che si parte per capire quale tipo di intervento è coerente con lo stato del bosco, l'obiettivo del proprietario e il tipo di credito che si può generare.

## 17.1 Gli interventi ammessi dal Registro

| Intervento ammesso | Descrizione tecnica | Obiettivo selvicolturale | Beneficio climatico / $CO_2$ | Tempo di permanenza del carbonio | Co-benefici ecosistemici | Esempio di intervento operativo | Nota strategica per crediti |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Mantenimento del governo a ceduo | Taglio periodico degli alberi lasciando che ricaccino naturalmente dalla ceppaia | Assicurare rigenerazione continua e vitalità del bosco | Ricrescita rapida e costante di biomassa → maggiore assorbimento di $CO_2$ e stabilità del suolo | 20–40 anni | Controllo erosione, habitat per biodiversità, resilienza a eventi climatici | Taglio ogni 15–20 anni lasciando ceppaie sane e vitali | Ideale per boschi giovani e produttivi; facilmente certificabile per crediti a medio termine |
| Conversione ceduo semplice → ceduo matricinato/composto | Lasciare alcune piante madri a crescere ad alto fusto | Aumentare la complessità strutturale e lo stock di carbonio | Le matricine fungono da serbatoi di carbonio a lungo termine | 30–60 anni | Aumento biodiversità, stabilità ecologica | Lasciare 60–100 matricine per ettaro durante il taglio | Crea stock di carbonio più duraturo e crediti di valore maggiore |
| Conversione ceduo matricinato → ceduo composto | Incremento del numero di alberi ad | Rendere il bosco più stabile e diversificat | Più alberi maturi → maggiore sequestro | 40–70 anni | Migliore resilienza, protezione suolo e | Selezionare e favorire 150–200 | Strategico per progetti a lungo |

| Intervento ammesso | Descrizione tecnica | Obiettivo selvicolturale | Beneficio climatico / $CO_2$ | Tempo di permanenza del carbonio | Co-benefici ecosistemici | Esempio di intervento operativo | Nota strategica per crediti |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | alto fusto | o | totale di carbonio | | ciclo idrico | matricine per ettaro | termine con crediti premium |
| Ceduo con maggior rilascio di polloni o matricine | Aumentare il numero di ricacci o piante madri lasciate crescere | Incrementare biomassa totale e capacità di assorbimento | Più individui = più $CO_2$ assorbita e maggiore stock | 25–50 anni | Incremento biodiversità e resilienza | Lasciare oltre il 30% in più di polloni rispetto alla gestione standard | Ottimo per migliorare i bilanci di carbonio e creare crediti aggiuntivi |
| Conversione ceduo → alto fusto | Passaggio a bosco con alberi che crescono liberi e maturano | Massimizzare accumulo di biomassa e durata dello stock | Alberi di grandi dimensioni immagazzinano molta più $CO_2$ | 60–100+ anni | Habitat complessi, maggiore sequestro nel suolo | Lasciare crescere i migliori individui eliminando i polloni in eccesso | Massimo potenziale di crediti CDR a lungo termine |
| Utilizzazioni ≤ 100% dell'incremento | Tagli limitati alla | Mantenere un bilancio positivo di | Evita rilasci di $CO_2$ e assicura | Continuo | Stabilità ecosistemica e | Calcolare l'incremento annuo e | Principio del non-declino: |

| Intervento ammesso | Descrizione tecnica | Obiettivo selvicolturale | Beneficio climatico / $CO_2$ | Tempo di permanenza del carbonio | Co-benefici ecosistemici | Esempio di intervento operativo | Nota strategica per crediti |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| annuo | crescita naturale del bosco | biomassa | stock crescente | | produttiva | pianificare tagli coerenti | base indispensabile per progetti certificabili |
| Interventi di prevenzione incendi | Tagli selettivi e gestione del combustibile per ridurre il rischio | Ridurre il rischio di perdita improvvisa di carbonio | Prevenire rilasci massivi di $CO_2$ da incendi | Variabile (20–80 anni) | Protezione e habitat, sicurezza del territorio | Diradamenti e pulizie regolari in aree ad alto rischio | Essenziali per garantire permanenza del carbonio e integrità dei crediti |
| Interventi selettivi (diversificazione, rinnovo, eliminazione alloctone, tutela boschi vetusti) | Azioni mirate per migliorare struttura e composizione del bosco | Rendere l'ecosistema più efficiente e stabile | Ottimizza l'assorbimento e prolunga lo stoccaggio del carbonio | 50–150+ anni | Aumento biodiversità, servizi ecosistemici, resilienza | Rimozione di specie invasive, favorire la rinnovazione, tutelare gli habitat vetusti | Fondamentali per crediti di alta qualità con co-benefici ESG |

## 17.2 Quanto rende un intervento forestale: i numeri di base

Prima di stimare i ricavi di un singolo intervento, serve un riferimento nazionale sull'incremento legnoso. L'INFC2015 (Inventario Nazionale delle Foreste e dei serbatoi forestali di Carbonio) indica un incremento annuo medio nazionale di **~4,1 $m^3$/ha·anno**, con differenze marcate tra tipologie di bosco: i cedui crescono in media intorno a 3,5 $m^3$/ha·anno, le fustaie a 4,2 $m^3$/ha·anno, e specie particolarmente produttive come la douglasia possono arrivare fino a 13,6 $m^3$/ha·anno in stazioni favorevoli. Il fattore di conversione da legno a $CO_2$ utilizzato in questo contesto è leggermente più ampio di quello visto nel capitolo precedente per i prodotti lavorati: **0,9–1,2 $tCO_2$ per $m^3$**, un intervallo che incorpora la variabilità di densità secca (~0,45–0,55 t/$m^3$), la frazione di carbonio (~0,5) e il fattore di espansione della biomassa (BEF, 1,0–1,3) a seconda dell'assortimento legnoso considerato.

Sul lato ricavi, i prezzi di riferimento vengono dalle aste pubbliche del Trentino-Alto Adige e dai prezzari forestali regionali. Il tondame di conifere di qualità "ordinaria" spunta circa **50–90 €/$m^3$** alle aste, con valori molto superiori per lotti di pregio; la legna da ardere all'ingrosso oscilla tra **60 e 140 €/t**, con ampia variabilità locale; il cippato si colloca intorno a **20–40 €/MWh**, in funzione della classe di umidità. I bandi comunali destinati alle famiglie possono avere prezzi anche molto più bassi, ma non sono rappresentativi del valore di mercato e vanno tenuti distinti nelle stime.

Sul lato costi, i prezzari forestali regionali — Lombardia (Prezzario opere forestali 2022) ed Emilia-Romagna (Elenco prezzi, Parte H foreste, edizione 2024) — restano il riferimento più solido per aggregare voci di manodopera, noli e lavorazioni in un costo "a cantiere tipo".

## 17.3 Costi e ricavi per tipologia di intervento

Applicando questi riferimenti agli otto interventi del Registro, emergono profili economici molto diversi tra loro. La **conversione**

**ceduo → fustaia** richiede un investimento di 1.200–3.000 €/ha e produce 15–60 $m^3$/ha, per ricavi indicativi di 750–5.400 €, con un assorbimento medio annuo di 4–5 $tCO_2$/ha. I **diradamenti in fustaia** costano 700–1.800 €/ha, producono 10–60 $m^3$/ha (500–7.200 €) e assorbono 4–6 $tCO_2$/ha·anno. L'**utilizzazione e ricostituzione di ceduo** è l'intervento a costo più contenuto (0–800 €/ha) e a produzione più elevata (40–120 $m^3$/ha, 1.600–10.800 €), con un assorbimento di 3–4 $tCO_2$/ha·anno (fino a 5 nei cedui più vigorosi). Gli **interventi di prevenzione incendi** costano 400–1.400 €/ha, generano ricavi minimi (100–500 € da 5–25 t di biomassa) ma uno stock di $CO_2$ stabile pari a 3–5 $tCO_2$/ha·anno: il loro valore economico non è nel legname, ma nella riduzione del rischio di perdita improvvisa dello stock.

I **rimboschimenti e imboschimenti** rappresentano l'intervento a maggiore investimento iniziale (3.500–8.000 €/ha) e senza alcun ricavo nei primi 10–15 anni, compensato però dal potenziale di assorbimento più alto della tabella (4–10 $tCO_2$/ha·anno) una volta a regime. Gli **arricchimenti e trasformazioni** costano 1.000–3.000 €/ha per 10–30 $m^3$/ha (500–3.000 €) e 4–6 $tCO_2$/ha·anno; la **rinaturalizzazione** 800–2.500 €/ha (più eventuali ripianti) per rese minori (300–2.000 €) e 3–5 $tCO_2$/ha·anno; i **miglioramenti multifunzionali** infine si collocano tra 600 e 2.000 €/ha (fino a 1.500–6.000 € per opere di sistemazione idraulico-forestale), con assortimenti minimi da sfollo o cippato e un assorbimento di 3–5 $tCO_2$/ha·anno.

> **Attenzione** — Questi intervalli cambiano sensibilmente in funzione di tre fattori concreti, da verificare sempre caso per caso prima di presentare una stima a un proprietario. La **pendenza e le modalità di esbosco**: appena si entra in teleferica o esbosco lungo, i costi salgono del 30–70% rispetto ai valori base di prezzario, per effetto dei noli di impianti a fune, argani ed elicotteri. La **specie e gli assortimenti**: conifere diradate "pulite" danno assortimenti migliori e prezzi al $m^3$ più alti rispetto a latifoglie minute o irregolari. L'**umidità e la qualità della biomassa**: legna e cippato oscillano molto in base alla classe qualitativa e al

grado di umidità, per cui i margini vanno sempre prudenzializzati rispetto ai valori massimi di prezzario.

Per il consulente, la lettura pratica di questi dati è che il valore economico di un progetto forestale nel Registro CREA non deriva quasi mai da un solo intervento isolato, ma dalla combinazione tra interventi a ricavo immediato (utilizzazione di ceduo, diradamenti) che finanziano la gestione corrente, e interventi a permanenza lunga (conversione ad alto fusto, rimboschimento) che costruiscono lo stock di crediti di maggior valore nel tempo — una logica di portafoglio, non di singolo cantiere.

---

Sul piano istituzionale, il canale nazionale italiano per questi crediti è il Registro pubblico dei crediti di carbonio gestito dal CREA, istituito con decreto del MASAF di concerto con il MASE. Va ricordato il perimetro d'uso: si tratta di crediti del mercato volontario, non utilizzabili nei sistemi EU ETS e CORSIA, generati da pratiche aggiuntive di gestione sostenibile. Il rapporto tra questo registro nazionale e il quadro europeo CRCF è trattato nel Capitolo 6 (§6.10).



CAPITOLO 18

# Casi studio internazionali e modelli di business

*Cosa funziona nel mondo, e perché.*

I casi studio internazionali sono la prova concreta di come il carbon farming possa generare crediti reali, scalabili e commercializzabili. Studiare ciò che è già accaduto negli Stati Uniti, in India, in Francia, in Australia e in Sud America permette all'agronomo e al project developer italiano di capire quali pratiche sono davvero efficaci, quale modello di MRV funziona nella pratica, quale struttura commerciale è sostenibile nel tempo e come si scala un progetto multi-azienda.

## 18.1 Stati Uniti — il modello "Pay-per-Practice"

Gli Stati Uniti sono stati il primo mercato moderno del carbon farming, con attori come Indigo, Truterra (Land O'Lakes), Nori, CIBO e Agoro. Le pratiche più diffuse sono cover crop, no-till, rotazioni migliorate e riduzione dei fertilizzanti. Il sistema di MRV si basa su dati forniti direttamente dagli agricoltori, modelli di simulazione del carbonio organico del suolo (SOCMAPS, DayCent) e telerilevamento satellitare (NDVI, SAR), con un livello di verifica relativamente semplificato. I prezzi si collocano tipicamente tra **10 e 30 $/t$CO_2$**.

Il modello ha però mostrato limiti strutturali, utili da conoscere prima di replicarlo: un'addizionalità debole, perché molte delle pratiche premiate erano già adottate dagli agricoltori prima del progetto; modelli previsionali che tendono a sovrastimare il sequestro di SOC in assenza di campionamenti diretti; pagamenti troppo bassi per generare reale motivazione negli agricoltori; contestazioni frequenti sulla non-permanenza delle pratiche premiate.

## 18.2 India — il caso VM0042 più grande al mondo

In India, progetti su oltre **250.000 ettari** utilizzano la metodologia VM0042 per ridurre le emissioni di metano dalle risaie, attraverso la tecnica AWD (Alternate Wetting and Drying): un'interruzione ciclica della sommersione del campo che riduce le emissioni di $CH_4$ del 30–70% e comporta un risparmio idrico del 30%. Il sistema di MRV combina telerilevamento satellitare per identificare i giorni effettivi di sommersione, modellistica DNDC per simulare le emissioni di metano, e dati comunitari aggregati attraverso un Programme of Activities (PoA). I crediti si vendono a **12–18 $/t**.

Ciò che funziona in questo modello è la semplicità della pratica agronomica, benefici climatici molto elevati per ettaro e una scalabilità enorme, resa possibile dall'aggregazione PoA. I problemi restano la governance complessa di un progetto su scala tanto ampia, la qualità variabile dei dati raccolti a livello di singolo agricoltore, e un certo rischio di leakage locale (spostamento dell'impatto negativo su aree limitrofe non coperte dal progetto).

## 18.3 Francia — il Label Bas-Carbone nel dettaglio

Il Volume 1 accenna al confronto tra Francia, Germania e Spagna; qui approfondiamo i dettagli tecnici del sistema francese, perché resta l'unico schema nazionale europeo pienamente operativo. Il Label Bas-Carbone comprende quattro schemi principali: *Haies* (siepi), *Agroforesterie*, *CarbonAgri* (allevamenti) e *Grandes Cultures* (seminativi). I prezzi si collocano in un intervallo di **30–50 €/t**, sensibilmente superiore a quello americano e indiano. Il sistema di MRV prevede campionamento diretto del suolo, l'uso del modello RothC integrato con i dati di gestione aziendale, verifica annuale obbligatoria e georeferenziazione GIS di ogni particella.

Le ragioni del successo relativo del modello francese sono riconducibili a quattro fattori: un forte supporto istituzionale, l'integrazione con la Politica Agricola Comune (PAC), un impianto metodologico trasparente e robusto, e il coinvolgimento diretto delle filiere agroalimentari attraverso meccanismi di insetting. È il riferimento europeo più maturo per chi in Italia voglia costruire un sistema di MRV credibile e un rapporto stabile con l'amministrazione pubblica.

## 18.4 Australia — pascoli migliorati e permanenza estrema

L'Australia gestisce il più grande programma al mondo basato su pascolo rotazionale, ripristino delle praterie, fertilizzazione organica e gestione idrica dei pascoli. Il modello di riferimento è FullCAM, integrato dal governo con modelli di SOC e misurazioni dirette. Il tasso di rimozione tipico è di **1–3 t di carbonio per ettaro all'anno** (equivalenti a 3,67–11 $tCO_2e$/ha·anno). Il tratto distintivo del sistema

australiano è il requisito di **permanenza del carbonio tra 25 e 100 anni** — il vincolo più severo tra tutti i casi studio esaminati, che riflette una scelta regolatoria orientata alla massima integrità ambientale del credito, a costo di una minore flessibilità per il proprietario terriero.

## 18.5 Sud America — agroforestazione e sistemi silvopastorali

In Argentina, Brasile e Colombia si sviluppano progetti basati su sistemi misti alberi più pascolo, silvopascolo intensivo e conversione di terreni degradati in sistemi agroforestali. Le caratteristiche distintive sono un sequestro elevato (**5–12 $tCO_2$/ha·anno**), una biodiversità molto alta associata ai sistemi misti, e crediti che si posizionano tipicamente in fascia premium sul mercato volontario, per effetto dei co-benefici ambientali e sociali documentabili.

## 18.6 I modelli di business del carbon farming

I casi studio esaminati corrispondono a modelli di business distinti, ciascuno con un diverso equilibrio tra rischio, rendimento e ruolo dell'agricoltore.

| Modello | Come funziona | Rischio per l'agricoltore | Rendimento | Esempio |
|---|---|---|---|---|
| Pay-per-Practice | L'agricoltore è pagato per adottare la pratica | Basso | Basso | Stati Uniti |
| Revenue Share | L'agricoltore riceve una quota percentuale dei crediti venduti | Medio | Incentiva qualità e lungo termine | Francia / Europa |
| Developer-Driven | Il developer gestisce l'intero progetto, l'agricoltore fornisce solo la terra | Basso per l'agricoltore, alto per il developer | Scala enorme | India, Kenya |

| Modello | Come funziona | Rischio per l'agricoltore | Rendimento | Esempio |
|---|---|---|---|---|
| Insetting | Filiere agroalimentari finanziano direttamente crediti "interni" alla propria catena | Variabile | Legato alla filiera | Food & beverage EU |
| Project Developer Integrato | Un unico soggetto cura progettazione, MRV digitale, relazione con i buyer, formazione e governance territoriale | Concentrato sul developer, minimo per il proprietario | Alto, scalabile | Modello Forever Bambù |

Il modello **Project Developer Integrato** — che comprende progettazione, MRV digitale, relazione diretta con i buyer, formazione dei tecnici e governance territoriale sotto un'unica regia — è quello più adatto al contesto italiano, per la frammentazione fondiaria del Paese e per la necessità di offrire ai proprietari terrieri un servizio "chiavi in mano" che il modello Pay-per-Practice puro non è in grado di garantire.

## 18.7 Economie di scala: quando conviene fare carbon farming

La scala del progetto condiziona in modo diretto la sua sostenibilità economica, perché i costi di MRV e di gestione amministrativa si comportano come costi fissi che vanno ripartiti su tutta la superficie coinvolta. Sotto i 300 ettari i costi di MRV e amministrativi per ettaro sono altissimi e il progetto tipicamente non è conveniente in autonomia. Tra 300 e 2.000 ettari i costi restano medio-alti, ma il progetto diventa possibile se abbinato a pratiche ad alto valore per credito, come biochar o agroforestazione. Tra 2.000 e 5.000 ettari la scala è ottimale, con costi bassi sia per l'MRV sia per la gestione amministrativa. Oltre i 5.000 ettari, fino a 50.000, i costi per ettaro diventano molto bassi e il progetto assume un valore strategico, tipicamente strutturato come Programme of Activities (PoA) — lo stesso schema di aggregazione impiegato nel caso indiano.

Per l'Italia, dove la superficie agricola è frammentata in una moltitudine di piccole e piccolissime aziende, la scala ideale realistica per un progetto aggregato si colloca tra **3.000 e 15.000 ettari sotto un unico PoA**: abbastanza grande da rendere sostenibili i costi fissi di MRV e verifica, abbastanza gestibile da mantenere una qualità del dato e una relazione con i proprietari terrieri che i modelli puramente developer-driven su scala indiana non sempre riescono a garantire.

> **Sintesi operativa** — Gli Stati Uniti mostrano i limiti dell'approccio pay-per-practice quando l'addizionalità è debole. L'India dimostra la potenza dei progetti aggregati su larghissima scala. La Francia resta il benchmark europeo per MRV e governance istituzionale. L'Australia mostra l'impatto, e il costo in termini di vincoli, dei pascoli migliorati con permanenza estesa. Il Sud America valorizza l'agroforestazione e il silvopascolo con crediti premium. L'Italia può diventare un protagonista europeo del settore se adotta, come propone questo volume, modelli di aggregazione PoA combinati con un MRV digitale avanzato — la direzione in cui si muove già il modello Forever Bambù descritto in questo capitolo.

## 18.8 Un caso reale italiano: il progetto Forever Bambù di Ripapersico

A completamento dei casi studio internazionali, ecco un caso reale italiano, documentato, verificato da ente terzo e registrato su un registro pubblico: il 9 ottobre 2026 il Registro Climate Standard ha emesso le sue 14.473 unità (progetto CS-ALCRCF-000000000001). Coerentemente con l'impostazione del volume, non è un progetto certificato ai sensi del Regolamento (UE) 2024/3012 — il quadro CRCF non è ancora operativo — ma un progetto del mercato volontario allineato alle sue regole («CRCF-aligned»): assorbimenti misurati in campo, verificati in modo indipendente secondo la ISO 14064-2 e poi ricalcolati con le regole dello schema di Climate Standard.

I dati della scheda sono tratti dall'opinione di verifica di RINA Services del 1° ottobre 2026, dal rapporto di verifica n. 26 MI 3314 CE del 14 settembre 2026, dalla Relazione di monitoraggio presentata a Climate

Standard (7 ottobre 2026) e dalla pagina pubblica del progetto sul registro.

| Voce | Dato (verifica RINA e Relazione di monitoraggio) |
|---|---|
| Progetto e localizzazione | «Riforestazione con Bambù in località Ripapersico», Portomaggiore (FE): 6,73 ha catastali, 6,00 ha piantati a bambù gigante (Phyllostachys edulis, Moso) su un ex seminativo cerealicolo. Gestore: Forever Bambù Operativa Società Agricola s.r.l. |
| Standard e metodologia (volontario, CRCF-aligned) | Verifica: ISO 14064-2:2019 e Programma Forever Bambù per i crediti da riforestazione con bambù, rev. 1 del 22/04/2024; quantificazione confrontata con la UNI/PdR 156:2024. Listing: schema CRCF-aligned di Climate Standard, con Piano di attività, Piano di monitoraggio e Relazione di monitoraggio sul modello del Reg. di esecuzione (UE) 2025/2358. |
| Perimetro e confini di sistema (ISO 14064-2) | Biomassa epigea e ipogea (rapporto radici/parte aerea 0,42). La lettiera è misurata ma esclusa dalle unità; il carbonio del suolo non è quantificato. Si detraggono baseline ed emissioni di gestione. |
| Attività e pratiche | Impianto nel 2016 (1.200 piante/ha) e gestione agronomica di lungo periodo. Anni 1-8 ricostruiti con le curve di crescita validate nella PDD; anni 9-10 misurati in campo il 27 e 28 luglio 2026 (diametri e altezze dei culmi, pesata della lettiera). |

| Voce | Dato (verifica RINA e Relazione di monitoraggio) |
|---|---|
| Stock e assorbimenti verificati | Periodo 1/4/2016 – 31/7/2026: 17.923,42 $tCO_2e$ di rimozioni nette. Lordo 18.128,24 $tCO_2$, pari all'88,8% del potenziale della UNI/PdR 156:2024. |
| Deduzioni applicate (incertezza, GHG di progetto, buffer) | Nel dato verificato: baseline 148,20 $tCO_2$ ed emissioni di gestione 56,63 $tCO_2$. Poi lo schema: lettiera esclusa (−443,51) = 17.479,90; incertezza 8% = 16.081,51; riserva per il rischio di inversione 10% (−1.608,15) = 14.473,36 unità. |
| Ente di verifica ed esito | RINA Services S.p.A., verifica secondo ISO 14064-3, ISO 14065 e ISO/IEC 17029. Garanzia ragionevole, esito «soddisfacente con commenti», nessuna segnalazione o riserva. Campione: 13 dati primari su 57, errore 0%. Una raccomandazione: registrare i consumi reali di gasolio, elettricità e fertilizzanti. |
| Registro pubblico e stato | Registro Climate Standard, schema CRCF-aligned: 14.473 unità di assorbimento emesse il 9 ottobre 2026 (progetto CS-ALCRCF-000000000001; riserva 1.608,15 t), annate 2016-2026, scadenza marzo 2036, ricertificazione ogni 3 anni. Pagina pubblica con tutti i documenti. Non sono unità certificate ai sensi del Reg. (UE) 2024/3012. |

**Cosa insegna questo caso** — Dove contava, la verifica ha sostituito le stime con le misure: gli ultimi due anni sono

misurati in campo e il verificatore ha rifatto da sé una parte delle misure. Poi lo schema ha tolto ancora: la lettiera, l’8% di incertezza, il 10% di riserva contro le inversioni. Da 18.128 tonnellate lorde a 14.473 unità: una tonnellata su cinque non diventa credito. È questa prudenza a rendere un credito difendibile.



CAPITOLO 19

# Checklist e strumenti per il tecnico

*Gli strumenti per portare il progetto in campo.*

> **Attenzione — La finestra "early mover" (2023-2027).** Chi avvia l'attività di Carbon Farming tra il 1º gennaio 2023 e il 31 dicembre 2027 beneficia di una deroga: l'incentive-effect test dell'addizionalità si considera automaticamente soddisfatto (Capitolo 6, §6.6). È un motivo concreto per non rimandare: avviare formalmente l'attività e la raccolta dei dati di baseline entro il 2027 semplifica la successiva certificazione. Il primo atto operativo — prima ancora dei crediti — è predisporre l'activity plan e il monitoring plan con i contenuti minimi richiesti dall'Atto Delegato (Capitolo 6, §6.9).

I capitoli precedenti hanno trattato in profondità i singoli blocchi tecnici di un progetto di Carbon Farming — modellistica, standard, economia, governance, diritto. Questo capitolo raccoglie gli elementi pratici in un formato diverso: checklist operative, pensate per essere usate direttamente sul campo o in fase di offerta commerciale, senza dover tornare a scorrere l'intero volume. Non introduce contenuti nuovi rispetto ai capitoli precedenti: li riorganizza in strumenti di lavoro.

## 19.1 Checklist pre-progetto: è un caso idoneo?

Prima di proporre un progetto di Carbon Farming a un'azienda, sette verifiche preliminari permettono di scartare rapidamente i casi non idonei, evitando di investire tempo di due diligence su appezzamenti che non genereranno volumi significativi.

- **Superficie e aggregazione.** Con meno di 200 ha nel perimetro di progetto (azienda singola o gruppo di aziende conferenti), valutare fin da subito una logica PoA territoriale (Capitolo 12): un progetto isolato sotto questa soglia difficilmente è economicamente sostenibile (Capitolo 5, §5.2).
- **Stato del suolo.** Suoli già prossimi alla saturazione di carbonio (prati stabili maturi, boschi consolidati) generano rimozioni marginali modeste: verificare con un'analisi SOC indicativa prima di procedere (Capitolo 1, §1.2).

- **Mineralogia e tessitura.** Suoli sabbiosi a bassa capacità di protezione richiedono input di carbonio molto più elevati per risultati equivalenti rispetto a suoli limoso-argillosi: non un motivo di esclusione, ma un fattore che incide su tempi e costi (Capitolo 1, §1.1).
- **Pratiche già in atto.** Se l'azienda pratica già cover cropping stabile, no-till consolidato o agroforestazione da anni, l'addizionalità va verificata con particolare attenzione: la pratica deve rappresentare un cambiamento rispetto alla baseline storica, non la fotografia dello stato attuale (Capitolo 5, §5.2).
- **Titolarità fondiaria.** Verificare da subito se il conduttore è proprietario, affittuario o contoterzista: la titolarità del credito va definita contrattualmente prima dell'avvio, non a progetto in corso (Capitolo 13, §13.1).
- **Rischio di reversal strutturale.** Terreni ad alto rischio erosivo, in area golenale, o con incertezza sulla continuità di conduzione (contratti di affitto in scadenza, successioni in corso) richiedono un buffer di rischio più alto o una valutazione preliminare più approfondita (Capitolo 1, §1.3; Capitolo 5, §5.4).
- **Obiettivo del cliente.** Un'azienda che cerca principalmente co-benefici (certificazione di filiera, accesso a credito bancario ESG, immagine) può accettare un progetto anche con volumi di credito modesti; un'azienda che cerca principalmente reddito da vendita crediti necessita di una stima ex-ante realistica prima di qualunque impegno (Capitolo 10, §10.1).

## 19.2 Checklist: contenuti minimi di un Project Design Document (PDD)

Un PDD solido, indipendentemente dallo standard scelto (VM0042, Registro CREA, Label Bas-Carbone), deve documentare almeno gli elementi seguenti.

- **Descrizione del progetto**: perimetro geografico, superficie, colture/pratiche coinvolte, durata dell'impegno (Capitolo 5, §5.2; Capitolo 13, §13.2.1).

- **Baseline documentata**: analisi storica di gestione degli ultimi 3-10 anni, modello SOC utilizzato e sua calibrazione locale, stratificazione dei campi per tipo di suolo e storicità (Capitolo 1; Capitolo 3; Capitolo 5, §5.2).
- **Dimostrazione di addizionalità**: normativa (la pratica non è un obbligo di legge), di common practice (dato statistico di riferimento CREA/ISTAT sulla diffusione della pratica nell'area), economica (costi aggiuntivi o mancati ricavi), contrattuale (impegno formale sottoscritto) (Capitolo 5, §5.2).
- **Metodologia di quantificazione**: modello di riferimento, distinzione esplicita tra rimozioni e riduzioni, fattori di emissione utilizzati per $N_2O$/$CH_4$ dove pertinente (Capitolo 3; Capitolo 5, §5.2; Capitolo 9).
- **Piano di monitoraggio (MRV)**: frequenza di raccolta dati di gestione, piano di telerilevamento/campionamento, ruolo di satelliti/droni se previsto, calendario delle verifiche in campo (Capitolo 4; Capitolo 5, §5.2).
- **Analisi del rischio di non-permanenza e buffer**: categoria di rischio applicata, percentuale di accantonamento, meccanismo di sostituzione in caso di reversal (Capitolo 5, §5.4).
- **Struttura di governance e titolarità**: ruoli e responsabilità nel caso di PoA multi-azienda, contratti tipo con i conferenti, clausole di uscita e di cambio pratica (Capitolo 12; Capitolo 13, §13.2).
- **Piano economico**: costi di certificazione e monitoraggio per ettaro, prezzo atteso dei crediti, punto di pareggio (break-even), scenario di sensitività su prezzo e volumi (Capitolo 10).
- **Salvaguardie e co-benefici**: impatti su biodiversità, risorsa idrica, erosione, occupazione locale — sempre più richiesti dagli acquirenti di crediti ad alta integrità (Capitolo 5, §5.3).

## 19.3 Checklist: piano di campionamento (sampling design)

- Stratificare i campi per tipo di suolo (tessitura, mineralogia se nota), topografia e storicità delle lavorazioni prima di decidere il numero di punti di campionamento: una buona

stratificazione riduce il numero di campioni necessari a parità di robustezza statistica (Capitolo 1, §1.1; Capitolo 5, §5.2).

- Profondità di riferimento: 0-30 cm come standard, con un secondo strato 30-60 cm dove il protocollo lo richiede (VM0042) o dove la pratica agronomica interessa strati profondi (Capitolo 5, §5.2). Per il monitoraggio biologico di routine, 0-10 o 0-20 cm, estesi a 0-30 cm sui prati (Capitolo 2, §2.4).
- Compositare almeno 10-15 prelievi per appezzamento omogeneo, evitando sistematicamente le zone di bordo (Capitolo 2, §2.4).
- Rispettare la stagionalità nei confronti temporali: campionare nello stesso periodo dell'anno a ogni ciclo di monitoraggio, evitando la finestra immediatamente successiva a lavorazioni, concimazioni o eventi meteorici intensi (Capitolo 2, §2.4).
- Pianificare la frequenza di rimisurazione coerente con lo standard scelto: tipicamente ogni 3-5 anni per la modellistica SOC (Capitolo 3), ogni 5 anni per il sampling fisico in VM0042 (Capitolo 5, §5.2), con MRV digitale (satelliti, droni) a cadenza più fitta nell'intervallo tra le misure fisiche (Capitolo 4).

## 19.4 Checklist: struttura minima di un contratto con l'agricoltore conferente

- Titolarità esplicita del credito generato e ripartizione tra proprietario del fondo, conduttore e, se presente, aggregatore/developer del PoA (Capitolo 13, §13.1.2).
- Durata minima dell'impegno coerente con la permanenza richiesta dallo standard (Capitolo 13, §13.2.1).
- Diritto di accesso ai campi per le attività di MRV, con preavviso concordato (Capitolo 13, §13.2.2).
- Clausola su cambio pratica e gestione del reversal: cosa succede se l'agricoltore interrompe la pratica prima della scadenza, e chi risponde della restituzione di crediti già emessi (Capitolo 13, §13.2.3).
- Clausole di indennizzo, penali e condizioni di uscita anticipata (Capitolo 13, §13.2.4).

- Nel caso di lavorazioni affidate a un contoterzista, chiarire che il contoterzista è un esecutore tecnico e non un titolare del credito, salvo diverso accordo esplicito (Capitolo 13, §13.1.3).

**Attenzione** — Nessuna di queste checklist sostituisce la due diligence tecnica, legale e fiscale specifica del singolo progetto. Sono un punto di partenza per non dimenticare passaggi critici, non un sostituto della competenza professionale richiesta per ciascuna area (agronomica, legale, fiscale) trattata nei capitoli di riferimento.

## 19.5 Template dell'activity plan (contenuti minimi CRCF)

L'activity plan è il documento che dà forma al progetto. L'Atto Delegato ne fissa i contenuti minimi (Capitolo 6, §6.9): la scheda seguente li riorganizza come traccia compilabile.

- Informazioni generali: titolarità e contatti; confini georeferenziati dell'area (codici LPIS dove applicabili); durata e data di inizio dell'attività.
- Ammissibilità: descrizione delle pratiche previste; evidenza dell'uso precedente del suolo; verifica delle date-soglia (1° gennaio 2023) e dell'assenza di rimozione di alberi/elementi legnosi esistenti.
- Quantificazione: baseline stimata; rimozioni ed emissioni attese con le assunzioni; approccio scelto per ciascun termine (modelli / misure dirette / proxy / fattori di default); fattore di deduzione per l'incertezza.
- Addizionalità: test regolatorio; test dell'effetto incentivante (inizio lavori); test di sostenibilità finanziaria (simple cost test o investment comparison test al 3,5%).
- Stoccaggio e responsabilità: valutazione del rischio di reversal; pratiche di mitigazione; meccanismo di liability scelto (buffer pool o assicurazione).
- Sostenibilità: requisiti minimi e co-benefici per biodiversità ed ecosistemi; eventuali co-benefici aggiuntivi (action/result-based).

- Piano di monitoraggio: rimando al monitoring plan (§19.6).

## 19.6 Template del monitoring plan

Il monitoring plan descrive come si sorvegliano nel tempo i serbatoi di carbonio e le fonti di emissione. Contenuti minimi:

- Pool di carbonio e fonti di emissione monitorate, con l'approccio scelto per ciascuno e coerente tra scenario di progetto e baseline.
- Piano di campionamento del suolo: stratificazione, numerosità e MDD, profondità, correzione a massa equivalente (ESM) e gestione dei carbonati (§3.10).
- Piano di telerilevamento/Digital MRV: satelliti e indici usati, frequenza, ruolo come proof-of-practice.
- Frequenza di monitoraggio e calendario degli audit; il monitoring report va presentato prima di ogni audit e comunque almeno ogni cinque anni.
- Procedura in caso di reversal: report entro un anno dall'evento, con localizzazione e quantificazione conservativa.
- Gestione e conservazione dei dati (tracciabilità, versioni, protezione), con auditor indipendente e assenza di conflitto d'interesse.

## 19.7 Tempistiche di progetto: dalla registrazione alla prima emissione

Le durate seguenti sono indicative e variano con lo standard, la scala e la disponibilità di dati storici; servono a impostare le aspettative del cliente, non come impegni contrattuali. Per un progetto agricolo, dalla registrazione alla prima emissione passano tipicamente 12–24 mesi.

| Fase | Durata indicativa | Output principale |
|---|---|---|
| Scoping ed eleggibilità | 1–2 mesi | Verifica ammissibilità e scelta metodologia/standard |

| Fase | Durata indicativa | Output principale |
|---|---|---|
| Activity plan e registrazione allo schema | 2–4 mesi | Activity plan; iscrizione allo schema riconosciuto |
| Baseline e campionamento iniziale | 2–4 mesi (stagionale) | Baseline; dati di suolo iniziali |
| Validazione (VVB) | 2–4 mesi | Rapporto di validazione |
| Primo ciclo di attività e monitoraggio | dipende dalla metodologia | Dati di monitoraggio; monitoring report |
| Verifica (VVB) ed emissione | 3–6 mesi | Rapporto di verifica; emissione crediti sul registro |

Per il tecnico — Il vincolo più frequente non è la validazione ma la baseline: senza dati storici affidabili (quaderno di campagna georeferenziato, analisi pregresse) la ricostruzione della baseline allunga i tempi e indebolisce il progetto. È il primo investimento da far partire, anche prima della scelta dello standard.



CAPITOLO 20

# Glossario tecnico avanzato

*Le parole precise del Carbon Farming.*

Questo glossario integra, senza ripeterlo, il "Glossario dei termini principali" del Volume 1. Contiene solo i termini tecnici introdotti in questo Volume 2 — modellistica del suolo, standard internazionali, MRV digitale, governance di progetto e diritto dei crediti — che non comparivano nel glossario del Volume 1.

**Activity period / Monitoring period (periodo di attività / di monitoraggio)** Nell'Atto Delegato CRCF, la durata dell'impegno a realizzare l'attività (activity period) e la durata, di norma più lunga, dell'obbligo di monitorare la permanenza del carbonio (monitoring period). Variano per attività: 5 anni rinnovabili per le pratiche agricole, 15 per l'agroforestazione, 10-30 per le torbiere, 35 anni (monitoraggio ≥40) per l'afforestazione.

**Activity plan (piano di attività)** Documento previsto dall'Atto Delegato CRCF che descrive, prima dell'avvio, l'attività di Carbon Farming: dati generali e confini georeferenziati, pratiche previste, baseline e quantificazione stimata, test di addizionalità, valutazione del rischio e meccanismo di liability, requisiti di sostenibilità e co-benefici, oltre al piano di monitoraggio.

**AMF (Arbuscular Mycorrhizal Fungi — Micorrize arbuscolari)** Funghi simbionti che colonizzano le radici della maggior parte delle piante coltivate, estendendone la rete di assorbimento di acqua e nutrienti in cambio di carbonio fotosintetico. Producono glomalina, una glicoproteina che contribuisce alla stabilità degli aggregati del suolo. La loro abbondanza è un indicatore indiretto della salute biologica del suolo ed è sensibile a lavorazioni intensive, monocolture di brassicacee e uso non mirato di fungicidi.

**Art. 6 dell'Accordo di Parigi** Articolo dell'Accordo di Parigi (2015) che disciplina la cooperazione internazionale volontaria sulla mitigazione climatica, inclusi i trasferimenti internazionali di crediti (ITMO). Richiede meccanismi di Corresponding Adjustment per evitare il doppio conteggio tra Paese venditore e Paese acquirente, oltre a trasparenza MRV e un'autorità nazionale abilitante.

**Break-even (prezzo di pareggio)** Prezzo minimo del credito di carbonio al quale i ricavi da vendita eguagliano i costi complessivi di un progetto (costi fissi di certificazione/MRV più costi variabili di

gestione), al netto della soglia di sequestro medio per ettaro. È il parametro economico centrale per decidere se un progetto è sostenibile a un dato prezzo di mercato.

**Buffer pool (accantonamento di rischio)** Quota di crediti trattenuta dal registro come riserva assicurativa contro il rischio di non-permanenza (reversal): se un progetto perde carbonio sequestrato per eventi imprevisti, il buffer copre la perdita senza dover invalidare i crediti già venduti ad acquirenti terzi. La percentuale di accantonamento varia in funzione della categoria di rischio del progetto (tipicamente 15-40% in aggregato secondo le tabelle CREA, 10-25% per il SOC in VM0042).

**Carbon saturation deficit (deficit di saturazione del carbonio)** Differenza tra la capacità massima di carbonio stabilizzabile di un suolo (funzione di mineralogia, tessitura, profondità attiva) e il suo contenuto attuale di SOC. Un deficit ampio indica un suolo ancora lontano dal plateau, con buona capacità di risposta a un cambio di gestione; un deficit ridotto indica un suolo prossimo alla saturazione, con rimozioni addizionali marginali.

**CCP (Carbon Core Principles) — ICVCM** I dieci principi fondamentali stabiliti dall'Integrity Council for the Voluntary Carbon Market per definire un credito di carbonio "di alta integrità": rigore scientifico, addizionalità, permanenza, MRV robusto, assenza di doppio conteggio, governance solida, salvaguardie sociali e ambientali, trasparenza, gerarchia di mitigazione. Una metodologia "CCP-approved" ha superato la valutazione dell'ICVCM secondo questi criteri.

**CEC (Cation Exchange Capacity — Capacità di Scambio Cationico)** Misura della capacità di un suolo di trattenere e scambiare cationi nutritivi (calcio, magnesio, potassio, ammonio) sulla superficie di argille e sostanza organica. Correlata alla mineralogia delle argille (più alta nelle argille 2:1 espansive come le smectiti, più bassa nella caolinite), è uno dei principali driver della protezione fisico-chimica della sostanza organica nel suolo.

**CRCF (Carbon Removal and Carbon Farming Certification Framework)** Il quadro di certificazione dell'Unione Europea per gli assorbimenti permanenti di carbonio, il Carbon Farming e lo

stoccaggio del carbonio nei prodotti, istituito dal Regolamento (UE) 2024/3012. Si basa sul criterio QUALITY. Le metodologie di certificazione per il Carbon Farming — agricoltura e agroforestazione su suoli minerali, riumidificazione di torbiere e suoli organici, afforestazione — sono state adottate con il Regolamento Delegato C(2026) 4666 del 9 luglio 2026. È previsto un registro europeo del carbonio, con piena operatività attesa per il 2028.

**DNDC (DeNitrification-DeComposition)** Modello biogeochimico process-based che simula in modo integrato il ciclo del carbonio e dell'azoto nel suolo, incluse le emissioni di $N_2O$ e $CH_4$. È il modello di riferimento quando un progetto deve quantificare, oltre al SOC, anche le riduzioni di emissioni di gas serra diversi dalla $CO_2$ (si veda Capitolo 3).

**ERPA (Emission Reduction Purchase Agreement)** Contratto con cui un acquirente si impegna ad acquistare, a un prezzo e a condizioni predefinite, i crediti di carbonio che un progetto genererà in futuro. Consente al developer di ottenere visibilità di ricavo (e talvolta prefinanziamento) prima dell'emissione effettiva dei crediti.

EU ETS (Emissions Trading System) e rimozioni permanenti Il sistema europeo di scambio delle quote di emissione, mercato regolato del carbonio per i settori industriali, energetici, dell'aviazione e del trasporto marittimo. Con la proposta di revisione COM(2026) 616 (17 luglio 2026) integra per la prima volta le rimozioni, ma solo quelle permanenti (BioCCS, DACCS) certificate CRCF e acquistate dalla Commissione. I crediti di Carbon Farming e nature-based — inclusi suolo, agroforestazione e bambù — non sono utilizzabili nell'EU ETS né in CORSIA: appartengono al mercato volontario. Cfr. §6.10.

**FAO — definizione di foresta** Definizione standard adottata a livello internazionale (e ripresa dagli standard di certificazione) per qualificare un'area come foresta ai fini di un progetto di afforestazione/riforestazione: copertura arborea minima, altezza minima degli alberi a maturità, estensione minima dell'area. Determina l'eleggibilità di un terreno per specifiche categorie di progetto forestale.

**ICVCM (Integrity Council for the Voluntary Carbon Market)** Organismo indipendente che valuta le metodologie di certificazione dei crediti di carbonio secondo i Carbon Core Principles (CCP), assegnando il riconoscimento "CCP-approved" alle metodologie che superano la valutazione. È oggi il principale riferimento di qualità trasversale ai diversi standard e registri.

**Incentive-effect test (test dell'effetto incentivante)** Componente del test di addizionalità del CRCF: dimostra che la certificazione induce l'operatore a intraprendere l'attività, che non avrebbe realizzato senza. Si considera automaticamente soddisfatto per gli "early mover" che hanno avviato l'attività tra il 1º gennaio 2023 e il 31 dicembre 2027.

**Insetting** Strategia con cui un'impresa investe in progetti di riduzione o rimozione di emissioni all'interno della propria catena di fornitura (ad esempio pratiche di Carbon Farming presso i propri fornitori agricoli), anziché acquistare crediti da progetti esterni non collegati alla filiera (offsetting). Consente di rivendicare miglioramenti diretti nello Scope 3 della propria rendicontazione.

**LCA A1-A5 (fasi del ciclo di vita — modulo di produzione)** Nell'ambito della norma EN 15804 sulla dichiarazione ambientale di prodotto, i moduli A1-A3 coprono estrazione delle materie prime, trasporto e produzione; A4-A5 coprono trasporto al cantiere e installazione. Nella contabilizzazione del carbonio dei prodotti legnosi e in bambù di lunga durata, le emissioni di questi moduli vanno detratte dal carbonio stoccato nel prodotto per ottenere il beneficio climatico netto.

**PoA (Programme of Activities)** Struttura di aggregazione che raggruppa più unità di progetto (CPA — CPA Project Activities) sotto un'unica entità coordinatrice (CME — Coordinating/Managing Entity), condividendo baseline metodologica, sistema MRV e costi di certificazione. È il modello economicamente necessario per rendere sostenibile il Carbon Farming su un tessuto fondiario frammentato come quello italiano (si veda Capitolo 12).

**QUALITY** Acronimo dei criteri stabiliti dal Regolamento CRCF per la certificazione europea: Quantification (quantificazione rigorosa), Additionality (addizionalità), Long-term storage (stoccaggio di lungo

periodo), Sustainability (sostenibilità), Information (trasparenza informativa), Trade (assenza di doppio conteggio negli scambi), Young market safeguards (salvaguardie per un mercato giovane).

**Risk rate (tasso di rischio di reversal)** Nell'Atto Delegato CRCF, la percentuale di carbonio a rischio di rilascio, determinata dalla valutazione del rischio combinando "hazard" e vulnerabilità del suolo (per i suoli agricoli, tipicamente 2-10%). Definisce la quota minima di crediti da accantonare nel buffer pool.

**RothC (Rothamsted Carbon Model)** Modello matematico process-based per la simulazione della dinamica del carbonio organico nel suolo, sviluppato dalla stazione sperimentale di Rothamsted (Regno Unito). È tra i modelli più utilizzati e più semplici da calibrare per progetti di Carbon Farming su seminativi, a fronte di una minore capacità di dettaglio rispetto a Century o DNDC su alcuni processi (si veda Capitolo 3).

**Tier 1/2/3 (livelli di accuratezza IPCC)** Classificazione IPCC dei livelli di accuratezza metodologica per la stima di emissioni e rimozioni di gas serra: Tier 1 utilizza fattori di emissione di default globali; Tier 2 utilizza dati e fattori di emissione specifici del Paese o della regione; Tier 3 utilizza modellistica dinamica calibrata su dati locali e misure dirette. Un progetto di Carbon Farming di alta qualità tende verso Tier 2/3 per aumentare la credibilità e ridurre l'incertezza (e quindi il buffer di rischio) delle stime.

**Uncertainty deduction factor (fattore di deduzione per incertezza)** Fattore, pari ad almeno il 10%, che l'Atto Delegato CRCF impone di sottrarre alle rimozioni o riduzioni quantificate per ottenere una stima conservativa, in linea con gli standard del meccanismo dell'Articolo 6.

**VM0042 (Improved Agricultural Land Management)** Metodologia Verra (VCS) per la certificazione di progetti di Carbon Farming che integrano incremento del SOC, riduzione di $N_2O/CH_4$ e biomassa permanente in un unico framework. È oggi lo standard volontario internazionale più diffuso per il Carbon Farming agricolo (si veda Capitolo 5).



CAPITOLO 21

# Riferimenti normativi e bibliografici aggiuntivi

*Le fonti su cui poggia ogni scelta.*

Questo capitolo integra, senza ripeterli, i “Riferimenti normativi e bibliografici” del Volume 1. Contiene solo le fonti citate specificamente nei capitoli di questo Volume 2 — standard tecnici internazionali, normativa di dettaglio, modelli scientifici, dati di filiera — che non comparivano nella bibliografia del Volume 1.

## Normative

- Direttiva (UE) 2024/825 del Parlamento europeo e del Consiglio, sulla responsabilizzazione dei consumatori per la transizione verde — modifica le regole sulle pratiche commerciali scorrette e vieta i claim ambientali generici non adeguatamente dimostrati; recepita in Italia con il D.Lgs. 30/2026, che disciplina in modo stringente i claim ambientali e sui crediti di compensazione rivolti ai consumatori (Capitolo 15).
- Regolamento di esecuzione (UE) 2025/2358 — procedure operative per gli enti di certificazione ai fini della verifica di conformità ai criteri QUALITY del CRCF (già citato nel Volume 1 in forma sintetica; qui approfondito nel dettaglio procedurale, Capitolo 5).

Regolamento Delegato (UE) C(2026) 4666 del 9 luglio 2026 — metodologie di certificazione per le attività di Carbon Farming (agricoltura e agroforestazione su suoli minerali, riumidificazione di torbiere e suoli organici, afforestazione); integra il Regolamento (UE) 2024/3012.

Proposta di Direttiva COM(2026) 616 del 17 luglio 2026 — revisione della Direttiva 2003/87/CE (EU ETS) e della Decisione (UE) 2015/1814: allineamento al target –90% al 2040, riforma della Market Stability Reserve e integrazione delle sole rimozioni permanenti (BioCCS, DACCS) nel mercato del carbonio tramite acquisto pubblico 2031–2040 (nuovo Art. 9c); il carbon farming e le soluzioni nature-based restano nel mercato volontario, con valutazione del loro possibile ingresso in un rapporto atteso entro il 2034.

Decreto del MASAF di concerto con il MASE — Linee guida per il Registro pubblico dei crediti di carbonio (CREA): istituzione e disciplina del registro nazionale volontario; i crediti non sono utilizzabili nei mercati EU ETS e CORSIA.

- Atto Delegato CRCF sulle rimozioni permanenti (DACCS, biochar), adottato a febbraio 2026.
- UNI/PdR 156:2024 — Prassi di Riferimento UNI su quantificazione, monitoraggio e rendicontazione degli assorbimenti di $CO_2$ da attività agroforestali e progetti di afforestazione in Italia.
- UNI EN 18140 — norma tecnica per progetti di Nature-based Solutions (NbS), citata come riferimento aggiuntivo ai fini della quantificazione di sequestro in progetti forestali e agroforestali.
- ISO 14068-1:2023 — Climate change management: Carbon neutrality, standard di riferimento per la formulazione corretta di claim di neutralità climatica (Capitolo 15).
- EN 15804 — Dichiarazione ambientale di prodotto (EPD), moduli del ciclo di vita A1-A5, utilizzata per la contabilizzazione delle emissioni nei prodotti legnosi e in bambù di lunga durata (Capitolo 16).

## Standard e metodologie di certificazione

- Verra VCS — VM0042 “Improved Agricultural Land Management” (IALM), v2.1 (2024) e v2.2 (2025).
- Verra VCS — VM0044/metodologie integrate per biochar, citate in combinazione con VM0042 nei progetti di filiera (Capitolo 8).
- Climate Action Reserve — U.S. Soil Enrichment Protocol (SEP) v1.1, approvato ICVCM come CCP-approved nel 2025.
- Gold Standard — Soil Organic Carbon (SOC) Framework Methodology v1.0, con moduli 2024-2025 su Zero Tillage, Cover Crops, Managed Pastures.
- Plan Vivo — metodologia/tool PT001 per progetti community-based di agroforestazione.
- Label Bas-Carbone (Francia) — schemi *Haies*, *Agroforesterie*, *CarbonAgri*, *Grandes Cultures*.
- ICVCM — Core Carbon Principles (CCP) Assessment Framework.

- EBC (European Biochar Certificate) e IBI (International Biochar Initiative) — standard di qualità del biochar.
- Puro.Earth — registro leader per crediti da biochar e altre rimozioni tecnologiche/ibride.

SBTi — Corporate Net-Zero Standard V2 (giugno 2026): criteri lato domanda per l'uso di rimozioni e riduzioni nei target net-zero d'impresa (crediti come complemento, non sostituto della riduzione).

## Modelli scientifici

- Coleman, K., Jenkinson, D.S. — RothC: The Rothamsted Carbon Model, Rothamsted Research.
- Parton, W.J., et al. — Century Model: analysis of factors controlling soil organic matter levels.
- Li, C., et al. — DNDC (DeNitrification-DeComposition) Model: a process-based model of soil biogeochemistry.
- IPCC — linee guida sui livelli di accuratezza (Tier 1/2/3) per la stima di emissioni e rimozioni, richiamate nel Capitolo 5 in relazione a VM0042 e nel Capitolo 3 per la modellistica SOC.

## Fonti scientifiche e istituzionali

- INFC2015 — Inventario Nazionale delle Foreste e dei Serbatoi Forestali di Carbonio: incremento legnoso medio nazionale e per tipologia di bosco.
- ISPRA — bilanci nazionali del carbonio, componente di stock biogenico nei prodotti legnosi extra-bosco.
- CREA — Tabella A1 (categorie di rischio e range di buffer per interventi forestali e agroforestali nel Registro pubblico dei crediti di carbonio).
- Copernicus (ESA) — programma satellitare europeo di osservazione della Terra; missioni Sentinel-1 (radar SAR) e Sentinel-2 (ottico), utilizzate per il monitoraggio digitale delle pratiche colturali (Capitolo 4).
- Aste pubbliche del legname, Provincia Autonoma di Trento e Bolzano; prezzari forestali regionali (Lombardia, Emilia-

Romagna) — riferimenti di prezzo per gli interventi forestali (Capitolo 17).

## Progetti e casi citati

- *Involtor Future Agriculture East-Europe Project* (VCS 3973) — primo progetto VM0042 con VCU effettivamente emesse (gennaio 2025).
- *AgreenaCarbon Project* — agricoltura rigenerativa su 1,6 milioni di ettari, UK e Europa centro-orientale.
- *Boomitra* — East Africa Croplands & Grasslands (Kenya); progetto flagship nei deserti Chihuahuan e Sonoran (Messico); SOVIN (India).
- *Indigo U.S. Project No.1* e *AgriCapture Soil Enrichment Project* — progetti registrati sotto il Climate Action Reserve SEP.
- *CommuniTree* (Nicaragua) — progetto Plan Vivo community-based di riferimento per l'agroforestazione smallholder.



APPENDICE OPERATIVA

# Un progetto CRCF, dal giorno 1

Il caso operativo: chi fa cosa, quando, quanto

*Dall'incarico alla vendita dei crediti, passo per passo.*

Il modo migliore per capire come funziona davvero un progetto di Carbon Farming è seguirne uno dall'inizio. Questa appendice ricostruisce, passo per passo, un progetto realistico: chi fa cosa, quando, quanto costa e quanto rende. I numeri sono illustrativi — vanno sempre ricalcolati sul progetto reale — ma la sequenza delle operazioni, i ruoli e gli ordini di grandezza sono quelli veri.

Il caso. Il Consorzio Terra Viva aggrega 42 aziende cerealicole della Pianura Padana, per un totale di 5.100 ettari a rotazione mais–soia–frumento, oggi a conduzione convenzionale. Il consorzio incarica un project developer — che assume il ruolo di CME (Carbon Management Entity) — di avviare un progetto di Carbon Farming su suoli minerali secondo la metodologia agricoltura/agroforestazione dell'Atto Delegato CRCF (Capitolo 6), attuato attraverso lo standard volontario VM0042 di uno schema riconosciuto. Le pratiche scelte: cover crop invernali, lavorazione conservativa (min-till) e rotazioni migliorate su tutte le aziende; fasce agroforestali sul 10% della superficie.

## A.1 Gli attori e chi fa cosa

Un progetto CRCF è un lavoro di squadra: sette figure, ciascuna con un compito preciso e non delegabile.

| Attore | Ruolo | Cosa fa in concreto |
|---|---|---|
| Agricoltore conferente | Esecutore in campo | Adotta e mantiene le pratiche; tiene il quaderno di campagna georeferenziato; dà accesso ai campi per i campionamenti. |
| Consorzio / aggregatore | Titolare del PoA | Raccoglie le adesioni, firma i contratti con i conferenti, fa da interfaccia unica verso la CME. |

| Attore | Ruolo | Cosa fa in concreto |
|---|---|---|
| CME / project developer | Regia tecnica e commerciale | Progetta, gestisce l'MRV, cura i rapporti con schema, VVB e buyer, vende i crediti e ripartisce i ricavi. |
| Agronomo progettista | Progettazione agronomica | Sceglie pratiche e baseline; redige activity plan e monitoring plan; disegna il piano di campionamento. |
| Analista MRV / dati | Quantificazione | Modelli SOC, telerilevamento, calcolo di baseline, crediti e fattore di incertezza. |
| Ente di verifica (VVB) | Terza parte indipendente | Valida il progetto e verifica i risultati; emette i rapporti di validazione e di verifica. |
| Schema / registro pubblico | Garante del mercato | Riconosce la metodologia, registra il progetto, emette e traccia i crediti, gestisce il buffer pool. |

## A.2 Fase 0 — Scoping ed eleggibilità (mesi 1–2)

Prima di promettere qualsiasi cosa al consorzio, si verifica se il progetto è ammissibile. È la fase che salva dal costruire su fondamenta fragili.

- CME e agronomo: sopralluoghi, raccolta dei dati storici (uso del suolo negli ultimi 3 anni, pratiche in atto), verifica delle date-

soglia del 1° gennaio 2023, verifica della titolarità fondiaria (chi ha diritto al credito), test preliminare di addizionalità.

- Analista: stima preliminare del potenziale in $tCO_2$ con fattori di default, per dimensionare l'opportunità.
- Documenti prodotti: nota di eleggibilità, lettera d'incarico, NDA, studio di pre-fattibilità.
- Costo indicativo della fase: 8–15 giornate/uomo tra CME e agronomo; nessun costo esterno rilevante.

## A.3 Fase 1 — Activity plan, baseline e registrazione (mesi 2–7)

Qui il progetto prende forma documentale e si aggancia allo schema di certificazione.

- Agronomo: redige l'activity plan (contenuti minimi §19.5) e sceglie il pacchetto di pratiche; disegna il piano di campionamento (stratificazione, numerosità e MDD, correzione a massa equivalente e gestione dei carbonati, §3.10).
- Analista: costruisce la baseline activity-specific sui 3 anni precedenti; esegue il campionamento SOC iniziale e inizializza il modello.
- Conferenti: firmano i contratti con il consorzio (obblighi di pratica, durata, revenue sharing, gestione dati).
- CME: iscrive il progetto allo schema riconosciuto e predispone il monitoring plan (§19.6).
- Documenti prodotti: activity plan, monitoring plan, baseline report, contratti conferenti, domanda di registrazione allo schema.

## A.4 Fase 2 — Implementazione e monitoraggio (dall'anno 1)

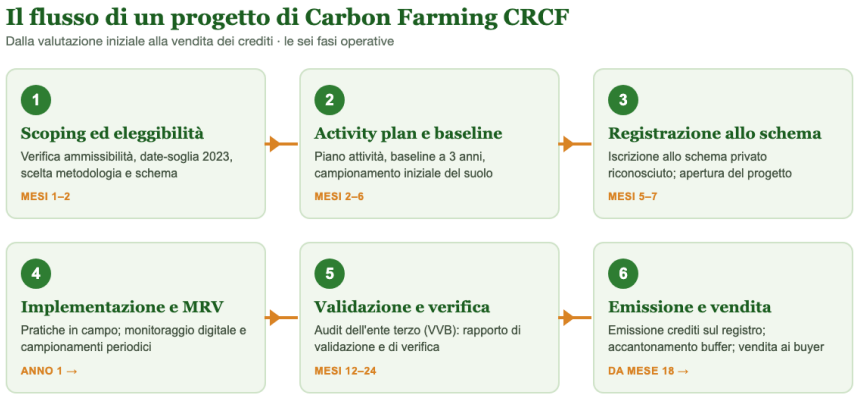
Il progetto entra in campo. È la fase più lunga e quella in cui si generano davvero le rimozioni.

- Agricoltori: seminano le cover crop, passano alla lavorazione conservativa, avviano le fasce agroforestali; aggiornano il quaderno di campagna.
- Analista/MRV: telerilevamento continuo come proof-of-practice, campionamenti periodici, aggiornamento del modello; redige il monitoring report.
- CME: controllo qualità dei dati, gestione delle non conformità, coordinamento del consorzio.
- Documenti prodotti: dati di monitoraggio, monitoring report (almeno ogni 5 anni e prima di ogni audit).

## A.5 Fase 3 — Validazione, verifica ed emissione (mesi 12–24)

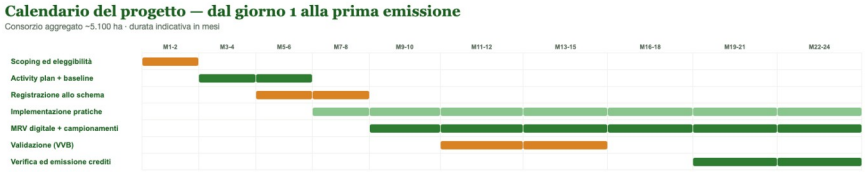
Il beneficio climatico diventa un credito solo dopo il vaglio di una terza parte indipendente.

- VVB: valida activity plan, baseline e addizionalità (rapporto di validazione); poi verifica i risultati del primo periodo (rapporto di verifica).
- Schema / registro: emette i crediti verificati e accantona il buffer pari al risk rate della valutazione del rischio.
- CME: vende i crediti ai buyer e ripartisce i ricavi ai conferenti secondo il contratto (revenue share).
- Documenti prodotti: rapporto di validazione, rapporto di verifica, crediti emessi sul registro, contratti di vendita (ERPA).




## A.6 Il calendario del progetto

Dalla registrazione alla prima emissione passano tipicamente 12–24 mesi. Il vincolo più frequente non è la validazione ma la baseline: senza dati storici affidabili i tempi si allungano.



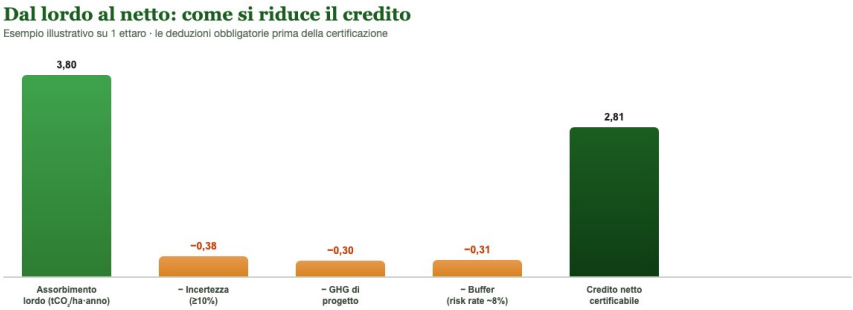

## A.7 Quanto costa

I costi si dividono tra una tantum (progettazione, baseline, validazione) e ricorrenti (MRV, verifiche, buffer). Su un PoA di scala si spalmano su migliaia di ettari: è questa la leva che rende il progetto sostenibile (Capitolo 10). Valori illustrativi, da ricalcolare sul progetto reale.

| Voce di costo | A carico di | Ordine di grandezza (illustrativo) |
|---|---|---|
| Progettazione (activity/monitoring plan, baseline) | CME / agronomo | 15.000–35.000 € una tantum |
| Campionamento iniziale del suolo | Progetto | 60–120 €/campione (1 composito ogni 20–50 ha) |
| MRV digitale (piattaforma + telerilevamento) | CME | 8–20 €/ha·anno |
| Validazione VVB | Progetto | 20.000–40.000 € una tantum (PoA) |
| Verifica VVB | Progetto | 15.000–30.000 € per ciclo |
| Buffer (crediti accantonati) | Progetto | ~ risk rate (2–10% dei crediti) |
| Coordinamento e commissione CME | Sui ricavi | 15–25% dei ricavi da crediti |

## A.8 Quanto rende

Le pratiche scelte generano, al lordo, dell'ordine di 3–4 $tCO_2$/ha·anno; dopo le deduzioni obbligatorie (incertezza ≥10%, GHG di progetto, buffer) il credito netto certificabile scende a circa 2,8 $tCO_2$/ha·anno. La figura seguente mostra il passaggio dal lordo al netto.




Su 5.100 ettari significano dell'ordine di 14.000 $tCO_2$/anno di crediti netti. Al prezzo del mercato volontario ad alta integrità (illustrativo: 30 –80 €/t) il ricavo lordo va da ~420.000 a ~1,1 milioni di euro l'anno, dai quali vanno sottratti i costi ricorrenti e la commissione della CME prima della ripartizione ai conferenti. È il motivo per cui, come mostrato nel Capitolo 10, il break-even scende da ~72 €/t di un progetto singolo a ~33 €/t dentro un PoA da 5.000 ettari: l'aggregazione — non l'agronomia — è la leva economica.

## A.9 Cosa si scrive, in ordine

La sequenza dei documenti che un progetto produce, dal primo all'ultimo:

- Nota di eleggibilità e studio di pre-fattibilità
- Lettera d'incarico e NDA
- Activity plan e monitoring plan
- Baseline report
- Contratti con i conferenti
- Domanda di registrazione allo schema
- Monitoring report (periodico)
- Rapporto di validazione (VVB)
- Rapporto di verifica (VVB)
- Registrazione dei crediti e accantonamento buffer
- Contratti di vendita (ERPA) ai buyer

Per il tecnico — Tre lezioni dal caso. Primo: i dati storici vengono prima di tutto; senza un quaderno di campagna georeferenziato la baseline non è validabile. Secondo: l'aggregazione è ciò che rende il progetto economicamente sostenibile — un progetto singolo, agli stessi prezzi, perde denaro. Terzo: avviare formalmente l'attività entro il 2027 mette al riparo dal test dell'effetto incentivante (deroga early mover, Capitolo 6).

# Gli autori



## Mauro Lajo

*Amministratore delegato e responsabile tecnico di Forever Bambù S.p.A. Società Benefit*

Nato a Castelfranco Veneto nel 1972, in una famiglia di agricoltori, è geometra. Dopo dieci anni in uno studio di ingegneria e dodici a progettare impianti di fitodepurazione in Italia, in Algeria e in America Latina, nel 2014 fonda con Emanuele Rissone Forever Bambù: foreste di bambù gigante, misura degli assorbimenti di $CO_2$, filiere della biomassa.

È carbon manager e sustainability manager, presidente dell'Area Sostenibilità di Cisambiente Confindustria. Dal 2000 fa formazione: oltre 2.300 ore d'aula, su tre continenti.



## Raffaele Mana

*Agronomo, presidente di OATA Liberi Professionisti*

Guida la direzione agronomica di Forever Bambù: circa 200 ettari di impianti in Italia, con i responsabili di area in Lombardia, Emilia-Romagna e Toscana e il vivaio aziendale.

In questo volume porta la parte che si fa in campo e non a tavolino: come si disegna un campionamento, che cosa si misura e con quale strumento, che cosa un tecnico deve saper documentare perché il dato regga davanti a una verifica.

DAL SUOLO AL MERCATO

# *Come si progetta, si certifica e si vende, nella pratica, un progetto di Carbon Farming che funzioni davvero?*

Il Volume 1 rispondeva alla domanda d'ingresso: che cos'è il Carbon Farming e perché occuparsene. Questo **Volume 2** si rivolge a chi deve operarlo per mestiere: l'agronomo che deve scegliere un modello di stima del carbonio organico del suolo, il consulente che deve strutturare l'economia di un progetto, il project developer che deve portare i crediti sul mercato senza incorrere in contestazioni normative.

È il **primo manuale operativo italiano sul CRCF**, aggiornato al Regolamento Delegato adottato dalla Commissione europea il **9 luglio 2026**.

---

**Scienza e modelli** · mineralogia e saturazione SOC · RothC, Century, DNDC · Digital MRV

**Standard e norme** · Atto Delegato CRCF · VM0042, ICVCM · diritto, contratti e fiscalità

**Economia di progetto** · dal caso singolo al PoA · agroforestazione e biochar · casi studio

> **Della stessa collana:** *Il Suolo Che Vale — Volume 1, per l'azienda agricola che parte da zero.*

**€ 49,00**

ISBN 979-12-986734-7-2

**Mauro Lajo** con Raffaele Mana

Forever Bambù · segreteria@foreverbambu.com · 02 400 314 83

Ottobre 2026 · Non esprime posizioni istituzionali e non sostituisce la consulenza di un professionista abilitato