

2. BENEFICI AMBIENTALI NELL'UTILIZZO DEL COMPOST

L'impiego del compost può fornire un contributo significativo nel fronteggiare le sfide poste oggi al settore agricolo, di cui si pone sempre in maggior risalto la valenza ecologica e ambientale.

Ad esempio, il Regolamento CE 1782/03, che modifica il sistema dei pagamenti della Politica Agricola Comunitaria (PAC), pone le basi per uno sviluppo del settore agricolo all'insegna della sostenibilità e della salvaguardia ambientale, includendo nella definizione di attività agricola, intesa come "la produzione, l'allevamento o la coltivazione di prodotti agricoli, [...]" anche "il **mantenimento della terra in buone condizioni agronomiche e ambientali** [...]".

L'uso del compost in agricoltura è già di per sé una pratica "ecologica", perché viene impiegato un materiale che deriva dal recupero in condizioni controllate di matrici organiche selezionate, altrimenti destinate allo smaltimento in discarica. Il compost è caratterizzato inoltre da un elevato contenuto di sostanza organica stabilizzata che, distribuita sul suolo, ha due importanti effetti: il primo è un miglioramento generale delle caratteristiche chimico-fisiche del terreno, che risulta pertanto salvaguardato da fenomeni di erosione; il secondo è un progressivo accumulo di carbonio nel suolo, che assume così una funzione di immagazzinamento del carbonio (carbon sink) nell'ambito della lotta all'effetto serra. Il compost infine, migliorando la fertilità del terreno, può essere impiegato per integrare o sostituire in misura variabile la concimazione chimica, la cui riduzione può avere importanti riflessi sia ambientali sia economici.

2.1 DINAMICHE E RIPRISTINO DELLA SOSTANZA ORGANICA NEL SUOLO

La sostanza organica (S.O.) può essere definita come il complesso di materiale solido organico presente nel suolo e include le sostanze umiche e i residui organici, sia di origine vegetale che animale, in fase di decomposizione. In media gli strati superficiali dei suoli coltivati di media tessitura sono costituiti dal 45-48% di materiale minerale, 2-5% di sostanza organica e 50% di spazi liberi.

Più nel dettaglio la sostanza organica è costituita da diverse frazioni, ossia:

- residui di piante parzialmente decomposti;
- microrganismi e microflora coinvolti nella decomposizione;
- sottoprodotti della crescita microbica e della decomposizione;
- la frazione umica, costituita da composti stabili derivati dalla degradazione della sostanza organica e che rappresenta quella parte in cui i sottoprodotti di degradazione hanno dato origine a composti molto stabili (Amlinger et al., 2007).

Questa frazione stabile è di solito legata alle frazioni minerali (quali argilla o sabbia), in funzione delle caratteristiche del suolo. Le funzioni e proprietà della sostanza organica del suolo sono riassunte in tabella 2.1.

Le coltivazioni intensive e la riduzione dell'utilizzo costante della fertilizzazione organica hanno determinato un progressivo impoverimento del contenuto di carbonio nei suoli, cosicché al giorno d'oggi, anche al fine di impostare un'agricoltura più sostenibile, si è tornati a porre l'attenzione sul ripristino della sostanza organica.

Le dinamiche della sostanza organica sono molto complesse e dipendono dal fatto che questa è costituita da diverse frazioni che subiscono reazioni chimiche e biochimiche di degradazione differenti nel suolo (vedi box a pagina seguente).

PROPRIETÀ	OSSERVAZIONI	EFFETTI SUL SUOLO
Riduzione della densità di suoli minerali	La sostanza organica normalmente ha una bassa densità, perciò l'aggiunta di questi materiali 'diluisce' il suolo minerale.	Una più bassa densità è normalmente associata ad un aumento nella porosità del suolo grazie alle interazioni tra le frazioni organiche e quelle inorganiche.
Chelazione	Forma complessi stabili con Cu^{2+} , Mn^{2+} e Zn^{2+} e altri cationi polivalenti.	Può migliorare la disponibilità di micronutrienti per le piante.
Solubilità in acqua	Insolubilità della sostanza organica quando è legata con l'argilla. Anche i sali di cationi bivalenti e trivalenti sono insolubili se legati con la sostanza organica. La sostanza organica isolata è parzialmente solubile in acqua.	Un po' di sostanza organica viene persa attraverso la lisciviazione.
Effetto tampone	La sostanza organica mostra un effetto tampone in range leggermente acidi, neutri ed alcalini.	Aiuta a mantenere uniformi le reazioni nel suolo.
Scambio cationico	Le acidità totali di frazioni isolate di sostanza organica si aggirano tra 300 e 1400 cmolc kg^{-1} .	Può aumentare la Capacità di Scambio Cationico del suolo. Dal 20 al 70% della CSC di molti suoli è associata alla sostanza organica.
Mineralizzazione	La decomposizione della sostanza organica produce CO_2 , NH_4 , NO_3 , PO_4^{3-} e SO_4^{2-} .	Una sorgente di nutrienti per la crescita delle piante.
Stabilizzazione dei contaminanti	La stabilizzazione dei materiali organici in sostanze umiche includendo composti organici volatili.	La stabilità può dipendere dalla persistenza dell'humus nel suolo e dal mantenimento o incremento del contenuto di carbonio nel suolo.

FUNZIONE DELLE DIVERSE COMPONENTI DELLA SOSTANZA ORGANICA NEL SUOLO

La degradazione della sostanza organica nel suolo procede secondo due fasi, una più rapida a carico delle frazioni maggiormente putrescibili ed una più lenta che degrada le frazioni più stabili ma che ha cinetiche dell'ordine di centinaia di anni (tab. 2.2).

In letteratura diversi autori hanno tentato di definire dei modelli che potessero spiegare in modo semplificato la degradazione della sostanza organica nel suolo. Uno dei più utilizzati è quello proposto da Jenkinson (Jenkinson, 1990) per spiegare i risultati di una sperimentazione, eseguita per oltre 100 anni presso Rothamsted nel Regno Unito, per valutare gli effetti della fertilizzazione organica nel terreno.

L'assunto di base di questo modello prevede di suddividere la sostanza organica in diverse frazioni, ciascuna della quale è caratterizzata da una dinamica di degradazione indipendente e segue una cinetica del primo ordine. In figura 2.1 è rappresentato tale modello, dove sono evidenziate le seguenti componenti:

- > la **frazione attiva**: è costituita dalla parte maggiormente fermentescibile, che fornisce l'energia e gli elementi nutritivi ai microrganismi e rappresenta una forma di sequestro di carbonio nel suolo a breve termine;
- > la **frazione lentamente biodegradabile** è rappresentata dalla parte più resistente alla degradazione e fornisce un apporto di carbonio che alimenta il pool attivo di sostanza organica del terreno. Questa componente è molto importante per lo sviluppo di una buona struttura del suolo, è perturbata dalle operazioni di coltivazione del suolo e, a titolo di esempio, costituisce buona parte del carbonio organico contenuto nel compost maturo;
- > la **frazione passiva (o inerte)**, è costituita da una componente che risulta inerte alla degradazione biologica, è relativamente resistente ai processi di ossidazione, ha un tempo di turn over dell'ordine di 100–1000 anni ed ha la funzione di "cementare" tra loro le particelle di suolo.

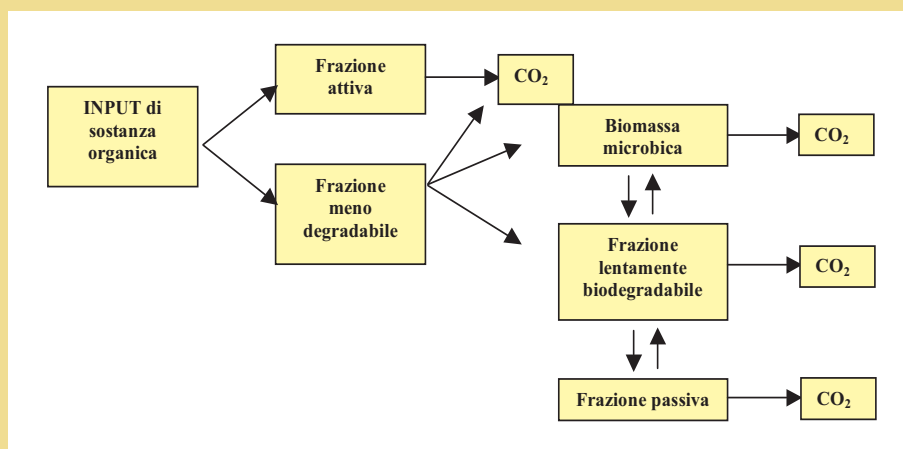


Figura 2.1 – Comportamento delle diverse frazioni di carbonio organico sulla base del modello di turnover di Rothamsted (tradotto da Amlinger et al., 2007 e Jenkinson, 1990).

Solo le prime due componenti contengono carbonio in forma disponibile per l'attività microbica. Il terzo pool contiene carbonio in forme molto stabili, che solo alcuni gruppi di microrganismi possono decomporre. La componente "passiva" può essere rigenerata dai metaboliti provenienti dalla decomposizione della frazione attiva e di quella lentamente biodegradabile. Pertanto è proprio il pool passivo di carbonio che genera l'aumento del tenore di carbonio organico nel suolo e opera il sequestro di carbonio nel suolo a lungo termine.

Le diverse frazioni della sostanza organica hanno tempi diversi di turnover (tab. 2.2) e questo ha un'influenza in particolare sulle dinamiche di sequestro del carbonio.

Tabella 2.2 - Tempi di turnover delle diverse componenti della sostanza organica (Amlinger *et al.*, 2007)

MATERIALE ORGANICO	TEMPO DI TURNOVER (Anni)
Lettiera/Residui colturali	0,5 - 2
Biomassa microbica	0,1 - 0,4
Macro-organismi	1 - 8
Particolato ⁽¹⁾	5 - 20
Frazione leggera ⁽²⁾	1 - 15
Humus stabile	20 - 1000

(1) Particolato: materiale organico di ridotte dimensioni, che può essere trasportato nella soluzione circolante del terreno.

(2) Frazione leggera: si tratta di sostanza organica in una fase di trasformazione intermedia, costituita per es. da frammenti di radici di piante, residui animali, nonché ife fungine, spore e semi.

La necessità di ripristinare il tenore di sostanza organica dei suoli fa emergere il ruolo fondamentale dell'uso del compost per mantenere la fertilità di fondo del suolo. In analogia con quanto riportato nella tabella 2.1, nella tabella 2.3 sono riportate le funzioni svolte dalla sostanza organica nel suolo apportata attraverso il compost.

Tabella 2.3 – Effetti dell'uso del compost nel suolo (tradotto da Amlinger *et al.*, 2007 e da BGK, 2005)

Attraverso la fertilizzazione organica (col compost) si favorisce:

Una struttura del suolo più stabile
→ Migliore infiltrazione, migliore lavorabilità
Un'elevata capacità di ritenzione idrica
→ Mitiga gli impatti legati ad eventi climatici estremi
Una migliore lavorabilità
→ Riduce il consumo di energia
Una elevata capacità di assorbimento dei nutrienti
→ Aumenta la disponibilità di nutrienti
Una riduzione della tendenza all'erosione
→ Riduce le perdite del suolo
Un incremento della temperatura del suolo
→ Migliora la crescita primaverile delle piante
Un effetto fitosanitario
→ Limita le fitopatie da agenti suolo-specifici
L'aumento della biodiversità
→ Favorisce le trasformazioni

Una misura quantitativa degli effetti nel suolo prodotti dall'incremento del tenore di sostanza organica sono riportati in tabella 2.4 (elaborata da Körschens, 2001).

Tabella 2.5 – Quantità di carbonio organico umificato in diversi ammendanti (tradotto da Amlinger *et al.*, 2007 e da BGK, 2005)

Tipologia di ammendante	% Sostanza organica (s.s.)	% carbonio organico (s.s.)	% C-umico ¹	riproduzione di C-umico ² (t ha ⁻¹)
compost maturo	36	21	51	2,6
liquame di maiale	75	43	21	0,1
paglia di cereali	85	49	21	0,6
sovescio, foglie di barbabietola	90	52	14	0,5

¹ Percentuale di carbonio umico efficace rispetto al carbonio organico definita da Reinhold, 2005

² Riproduzione dell'humus con tassi di fertilizzazione medi: compost (40 t ha⁻¹ in 3 anni), liquame (30 m³ ha⁻¹), paglia (87 t ha⁻¹), sovescio-foglie di barbabietola (60 t ha⁻¹)

Tabella 2.4 – Quantificazione del miglioramento delle caratteristiche del suolo a seguito dell'utilizzo di compost (elaborazione da Körschens, 2001)

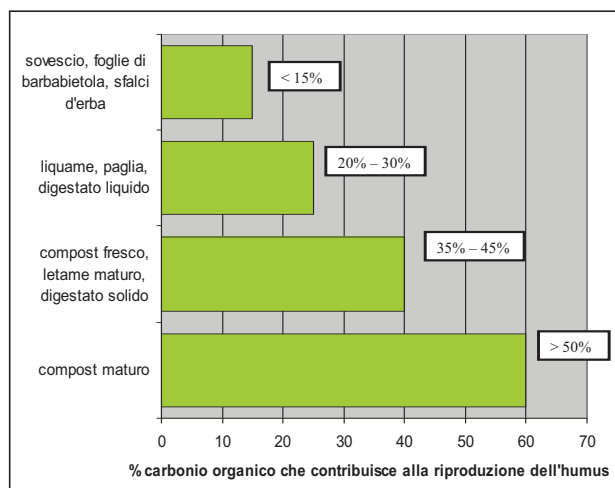
Effetti sulle proprietà del suolo determinate da un incremento di carbonio organico dello 0,1%

Incremento igroscopicità	0,06 - 0,08 (%)
Incremento capacità di ritenzione idrica	0,4 - 0,6 (%)
Diminuzione della densità apparente	0,006 - 0,008 (g/cm ³)

Quando si deve effettuare un confronto tra le possibili fonti di sostanza organica potenzialmente utilizzabili nel suolo un parametro utile è costituito dal *coefficiente di riproduzione dell'humus* (K_{HR}), che è dato dal rapporto tra il carbonio umico e il carbonio totale del singolo ammendante. Fanghi di depurazione civile, liquami, letami e compost hanno K_{HR} crescenti rispettivamente di 0,15, 0,20, 0,30 e 0,40 t C-humus/t C-ammendante (Amlinger *et al.*, 2007).

Il consorzio federale tedesco per il compost (Bundesgütegemeinschaft Kompost – BGK) ha classificato i diversi ammendanti secondo la proprietà di ripristino dell'humus (fig. 2.2), che è un indicatore fondamentale per determinare la porzione di humus che può essere ripristinato nel suolo. In particolare si nota che nel caso del compost maturo più del 50% del carbonio organico contribuisce alla genesi di humus, il doppio rispetto ad altri ammendanti quali il liquame, la paglia e il digestato liquido.

Figura 2.2 – Percentuale di carbonio organico che contribuisce alla riproduzione dell'humus in diversi ammendanti (tradotto da Amlinger *et al.*, 2007 e da BGK, 2005)



In tabella 2.5 sono riportati i quantitativi di humus rigenerato nel suolo attraverso l'utilizzo di diversi tipi di ammendanti secondo dosi medie di somministrazione nel terreno.

Dai valori presentati nell'ultima colonna si evince che il contributo del compost maturo nel ripristino e nella rigenerazione dell'humus è di gran lunga superiore (2,6 t/ha) rispetto a quella del liquame (0,1 t/ha) e della paglia (0,6 t/ha).

2.2 CARBON SINK E FISSAZIONE DELLA CO₂

Un tema attualmente molto dibattuto nella comunità scientifica, a livello internazionale, è quello dei possibili interventi per mitigare gli effetti del cambiamento climatico attraverso una riduzione delle emissioni di gas serra immesse nell'atmosfera. Nel bilancio globale le azioni che possono essere intraprese non si limitano solo alla riduzione dei flussi di diossido di carbonio emesso dagli insediamenti industriali, bensì un ruolo non secondario può essere rivestito dai sistemi di cattura e trattenimento di tali gas serra. Per esempio si stanno moltiplicando gli studi per modernizzare le centrali di produzione di energia elettrica (in particolare alimentate a carbone) attraverso i processi di cattura della CO₂ prima dello scarico dei fumi di combustione in atmosfera.

Anche l'ambito agricolo può svolgere un ruolo principe nella mitigazione delle emissioni climateranti. Infatti è stato stimato che il 14% del rilascio netto di carbonio generato dalla combustione di fonti fossili sia riconducibile alle attività agricole (Smith *et al.*, 2001). In particolare l'IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) ha individuato 3 azioni per ridurre le emissioni in ambito agricolo:

- la riduzione delle emissioni dirette prodotte dalle modalità di lavorazione dei terreni e la riduzione delle emissioni indirette dovute all'intensivo utilizzo di pesticidi e fertilizzanti;
- il sequestro di carbonio tramite l'apporto della sostanza organica;
- sostituzione dei combustibili fossili con biocarburanti.

Il ruolo del compost nell'ambito di questo scenario risulta particolarmente importante per contribuire a realizzare i primi due aspetti.

Per quanto concerne la prima azione l'uso del compost favorisce:

- la riduzione dell'utilizzo di fertilizzanti di sintesi (grazie all'accumulo nel suolo di elementi nutritivi in forma organica a lento rilascio);
- la riduzione dell'uso di pesticidi (grazie al potere fitorepressivo);
- il miglioramento delle proprietà fisiche del suolo, che favorisce una più facile lavorazione dello stesso, riducendo anche le operazioni meccaniche per la preparazione (principi dell'agricoltura blu);
- la riduzione delle fasi di irrigazione grazie all'incremento della capacità di ritenzione idrica dei suoli.

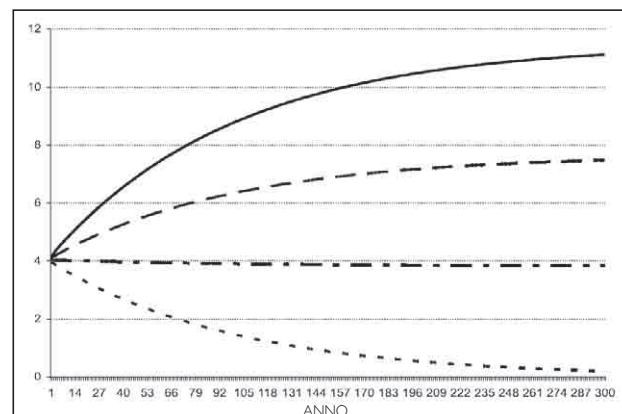
In merito alla seconda azione va sottolineata l'importanza del compost quale fonte di accumulo di carbonio organico nel suolo a lento rilascio. In particolare la Comunicazione EU della Commissione Europea in tema di protezione del suolo ha enfatizzato l'importanza dell'uso del compost di qualità nelle

azioni da intraprendere per ripristinare il tenore di sostanza organica nei suoli, mitigando così i fenomeni di desertificazione ed erosione. Questo tema è molto sentito non solo in relazione alle problematiche relative agli Stati mediterranei, dove le condizioni climatiche (temperatura e umidità) accelerano i processi di consumo della sostanza organica (fino a valori inferiori al 2%), ma anche nelle Regioni europee settentrionali, dove, a fronte di un lungo periodo di sfruttamento del suolo attraverso le coltivazioni intensive e l'utilizzo di fertilizzanti di sintesi senza prevedere il mantenimento della fertilità di base del suolo tramite la concimazione organica, si è assistito a una progressiva deplezione del carbonio organico del suolo fino a valori inferiori al 4%.

La diminuzione rapida di carbonio organico nei suoli comporta non solo una riduzione progressiva della fertilità del suolo, ma anche il rilascio in breve tempo di un flusso netto di CO₂ in atmosfera.

In figura 2.3 è rappresentato un modello di evoluzione del carbonio organico nel suolo senza l'utilizzo di ammendanti, confrontato con l'utilizzo di diverse dosi di ammendanti organici in un arco temporale di 300 anni, basato sul modello di frazionamento della sostanza organica esposto nel paragrafo precedente, tenendo conto di un tasso di mineralizzazione della frazione passiva dell'ordine di grandezza dei 100-1000 anni (vedi tab. 2.2).

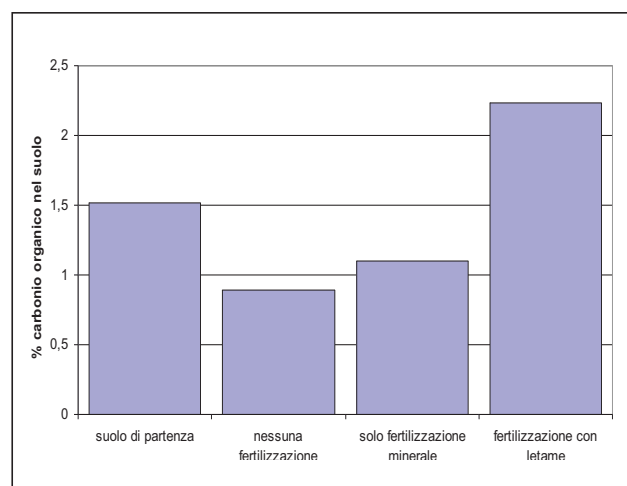
Figura 2.3 – Accumulo del carbonio organico nel suolo a seguito dell'apporto di diverse dosi di compost (tradotto da Amlinger *et al.*, 2007 e da Hogg, 2002)



Il carbonio organico fornito dal compost viene in parte mineralizzato e in parte convertito nelle frazioni più stabili (acidi umici e fulvici): è proprio l'accumulo di queste frazioni più stabili che genera l'aumento del tenore di carbonio organico nel suolo. Come evidenziato nella figura 2.3, dosi annuali di compost crescenti determinano un aumento del tenore di carbonio immagazzinato nel suolo.

Questo modello è stato confermato da studi in campo effettuati per lunghi periodi di tempo nel centro di ricerca sperimentale in agricoltura di Rothamstead (UK), dove è stata studiata la dinamica del carbonio organico per oltre 100 anni a partire dal 1843 in suoli coltivati senza alcun tipo di fertilizzazione o con fertilizzazione minerale o organica. I risultati di tale sperimentazione sono riportati in figura 2.4.

Figura 2.4 – Dinamiche del carbonio organico nel suolo in funzione della tipologia di fertilizzazione applicata (tradotto ed elaborato da Favonio e Hogg, 2008)



Dall'analisi dei valori ottenuti emerge come nel caso di mancato utilizzo di fertilizzazione organica si è verificata una significativa diminuzione della sostanza organica nel suolo, che si riflette in un rilevante rilascio di carbonio in atmosfera. L'adozione di pratiche di fertilizzazione organica (con l'uso di letame o similmente di compost) contribuisce a mantenere il tenore di carbonio organico ai valori normalmente presenti in natura o addirittura a incrementarlo. In tal senso il compost può essere visto come un mezzo per aumentare il potere di carbon sink del suolo.

In merito alla **quantificazione del potere di accumulo del carbonio da parte del compost** un problema è dettato dalla metodologia di calcolo. In genere per stimare un bilancio complessivo dei gas serra emessi e trattiene, nel corso della filiera del recupero di una frazione di rifiuti (quale ad esempio la frazione organica - FORSU) si effettua un'analisi del ciclo di vita (LCA - Life Cycle Assessment). Nell'ambito di questa metodologia è necessario definire un orizzonte temporale all'interno del quale definire i bilanci di emissione e quantificare tutte le sorgenti di CO₂ che si manifestano nel corso dell'intero processo produttivo (in questo caso il compostaggio, dalla fase di raccolta del rifiuto organico a quella di spandimento del compost sul suolo).

Il parametro fondamentale che deve essere individuato per effettuare la stima dell'effetto del carbon sink del compost è il tempo di turn over del carbonio organico apportato al suolo. In base a quanto sopra riportato, la dinamica delle diverse frazioni di carbonio organico risulta molto complessa, così come la definizione dei tassi di mineralizzazione di tali diversi pool di carbonio organico. Utilizzando sia dei modelli matematici che prove sperimentali in campo (esperimento di Rothamstead) è stato definito un tempo di turn over di circa 42 anni (Smith *et al.*, 2001). Tale valore corrisponde a una perdita per mineralizzazione in 100 anni di circa il 91,8% del carbonio organico apportato col compost, mentre l'8,2% rimarrebbe ancora disponibile nel suolo. Nei box a lato e a pagina seguente sono riportati i calcoli dei contributi dell'uso del compost nella mitigazione dell'effetto serra.

CALCOLO DEL BILANCIO DI CO₂ DETERMINATO DALL'UTILIZZO DEL COMPOST IN AGRICOLTURA

Mitigazione dell'effetto serra tramite l'utilizzo del compost in agricoltura

Sulla base delle precedenti considerazioni, tenuto conto di un contenuto di carbonio organico nel compost pari a 180 kg/t compost e di un tasso di sequestro dell'8,2%, si ottiene uno stoccaggio di CO₂ di 54 kg per t di compost utilizzato, che corrisponde a **22 kg di CO₂** per t di rifiuto putrescibile avviato a compostaggio, considerando una resa di processo del 40%.

Mitigazione dell'effetto serra tramite l'utilizzo del compost nel florovivaismo

Per calcolare l'effetto dell'utilizzo del compost per la costituzione di substrati in sostituzione della torba si può procedere nel seguente modo: la sostituzione di 1 m³ di torba, tenuto conto del relativo tenore di carbonio organico (23% t.q.) (Smith *et al.*, 2001), con una corrispondente quantità di compost permette di evitare un'emissione di 247 kg di CO₂, equivalenti a 362 kg CO₂ per t di compost. Pertanto, tenuto conto delle rese di processo è possibile ottenere una riduzione di **144,8 kg di CO₂** per t di rifiuto avviato a compostaggio. Considerando l'effetto combinato dell'uso dell'80% del compost in agricoltura e del 20% in vivaismo, in sostituzione della torba, il risultato netto di risparmio di CO₂ emessa in atmosfera è pari a 46 kg di CO₂ per t di rifiuto avviato a compostaggio.

Mitigazione dell'effetto serra tramite la sostituzione dei fertilizzanti minerali con compost

Un altro elemento da considerare è costituito dalle mancate emissioni derivanti dalla riduzione nell'utilizzo dei fertilizzanti tradizionali, ossia:

- emissioni di CO₂ evitate dai combustibili fossili usati per generare energia finalizzata alla produzione dei fertilizzanti;
- emissioni di CO₂ derivanti dall'uso di gas naturale come materia prima per la produzione di ammoniaca;
- nel caso dei fertilizzanti azotati, le emissioni di N₂O dalla produzione dell'acido nitrico.

In tabella 2.6 sono riportati i valori di CO₂ equivalente risparmiati sostituendo il compost con i concimi di sintesi, distinti per azoto, fosforo e potassio, tenuto conto del tenore medio di questi elementi nei compost prodotti in Veneto. Le emissioni risparmiate, rapportate alla quantità di rifiuto biodegradabile avviato a compostaggio, sono pari a **37,3 kg di CO₂** equivalente.

Tabella 2.6 – Quantità di diossido di carbonio equivalente evitato utilizzando compost al posto di fertilizzanti minerali (tradotto da Smith *et al.* 2001)

Elemento nutritivo	kg CO ₂ equiv/kg elemento nutritivo	Contenuto nutrienti (kg/t compost t.q.)	Emissioni evitate (kg CO ₂ equiv/kg compost)
Azoto	5,29	15,6	82,5
Fosforo	0,52	12,4	6,4
Potassio	0,38	11,4	4,3
Totale			93,2

Effetti complessivi

In sintesi, considerando un utilizzo del compost in agricoltura (50%), ripristini ambientali (30%) e il restante 20% nel florovivaismo si ottengono i seguenti risparmi per 1 tonnellata di rifiuto putrescibile avviato a compostaggio:

- - **17,6 kg di CO₂** per effetto del carbon sink nel suolo (agricoltura e ripristini ambientali – 80%);
- - **18,7 kg di CO₂** effetto del mancato utilizzo dei fertilizzanti (solo agricoltura – 50%);
- - **29 kg di CO₂** per effetto della sostituzione della torba con compost (solo uso florovivaistico – 20%).

Il beneficio ambientale netto globale dell'utilizzo del compost in agricoltura e vivaismo risulta quindi di **- 65,3 kg di CO₂/t rifiuto avviato a compostaggio**.

BILANCIO COMPLESSIVO DELLE EMISSIONI DI CO₂ IN IMPIANTI DI COMPOSTAGGIO E DIGESTIONE ANAEROBICA

Ai fini di completare l'analisi risulta altresì necessario tenere in considerazione le emissioni generate e risparmiate nell'ambito del processo di compostaggio con o senza integrazione con la digestione anaerobica (vedi tab. 2.7).

Come si può notare nel bilancio proposto da Smith et al., 2001, rielaborato con dati ARPAV, viene calcolato il contributo positivo del trasporto e del consumo energetico per il trattamento della matrici, nonché l'effetto di risparmio derivante dal mancato utilizzo di fertilizzanti e torba (-36 kg CO₂). Il bilancio finale è compreso tra **39,3 e 44,3 kg CO₂** evitata per t di rifiuto putrescibile avviato a compostaggio, in funzione della tecnologia adottata. Verificando l'opzione della **digestione anaerobica** bisogna tener conto nei calcoli di una minore produzione di compost (30%), nonché dei contributi di risparmio energetico dovuti alla cessione di energia elettrica e/o termica al netto degli autoconsumi. Il risparmio di CO₂ in questo caso è molto superiore ed oscilla tra **77,2 e 196,2 kg CO₂**, in funzione dell'esistenza o meno di un sistema di recupero e cessione dell'energia termica prodotta dalla combustione del biogas.

Tabella 2.7 – Bilancio del diossido di carbonio equivalente evitato tramite il recupero di materia (compostaggio) o di energia e materia (digestione anaerobica e compostaggio) della frazione organica dei rifiuti (modificato da Smith et al., 2001 con dati ARPAV – Osservatorio regionale per il Compostaggio).

	Utilizzo di energia	Energia risparmiata	Materiali risparmiati	Trasporti	CO ₂ sequestrata	Bilancio della CO ₂
	kg CO ₂ equivalente/t rifiuto putrescibile	kg CO ₂ equivalente/t rifiuto putrescibile	kg CO ₂ equivalente/t rifiuto putrescibile	kg CO ₂ equivalente/t rifiuto putrescibile	kg CO ₂ equivalente/t rifiuto putrescibile	kg CO ₂ equivalente/t rifiuto putrescibile
Compostaggio (all'aperto)	13		-47,7*	8	-17,6	-44,3
Compostaggio (in ambiente tamponato)	18		-47,7*	8	-17,6	-39,3
Digestione anaerobica (con sola produzione di energia elettrica) +compostaggio	-	-36,5**	-35,7***	8	-13	-77,2
Digestione anaerobica (con sistema di cogenerazione e recupero dell'energia termica) + compostaggio	-	-155,5**	-35,7***	8	-13	-196,2

* risparmio di CO₂ nel compostaggio dovuto al mancato utilizzo di fertilizzanti di sintesi in agricoltura e ripristini ambientali (80%) e di torba nel florovivaismo (20%)

Un limite nell'analisi sopra riportata consiste nel fatto che l'arco temporale tipico di una LCA è pari a 100 anni e non tiene in considerazione dell'effetto di mitigazione del diossido di carbonio derivante dall'utilizzo in continuo del compost, i cui effetti continuano a registrarsi nel tempo anche dopo i 100 anni di riferimento. In secondo luogo bisognerebbe poter gerarchizzare le emissioni di CO₂ (sia prodotte che evitate) in quanto quelle generate per la produzione del compost sono concentrate in un lasso di tempo ristretto (circa 3 mesi), mentre quelle assorbite dal compost nel tempo sono costanti, anche se con minore entità. Questo aspetto ha un'incidenza rilevante sui flussi annui di CO₂ emesso/assorbito.

In conclusione si può quindi asserire che il compost assume un ruolo fondamentale nell'ambito della lotta ai cambiamenti climatici e le politiche nazionali ed internazionali dovrebbero dare sempre una maggiore valenza a tale percorso di gestione e recupero dei rifiuti per recuperare risorse naturali (quali la sostanza organica), mantenere un idoneo grado di fertilità dei suoli e rallentare il rilascio di CO₂ nell'atmosfera a beneficio del clima.

2.3 DINAMICHE DELL'AZOTO NEGLI AMMENDANTI COMPOSTATI

Gli ammendanti compostati sono impiegati per conservare e migliorare le caratteristiche chimico-fisiche del terreno, e non per fornire gli elementi nutritivi necessari alla crescita delle colture. Infatti, il D. lgs. 217/06, che norma la commercializzazione dei fertilizzanti in Italia, non prevede per gli ammendanti compostati un tenore minimo di azoto, diversamente da quanto previsto per i concimi, per i quali è invece definito un titolo minimo per questo nutriente.

Le analisi degli ammendanti compostati prodotti in Veneto (vedi tab. 2.8) dimostrano che il contenuto medio in azoto (1,9 % s.s., corrispondente a circa 1,2 % t.q.) è di molto inferiore a quello di un comune concime azotato: per esempio, 100 kg di ammendante compostato apportano in media 1,2 kg di azoto, rispetto a 30 kg forniti da una pari quantità di nitrato ammonico.

Inoltre, l'azoto presente negli ammendanti compostati è per oltre il 90% sotto forma organica, e quindi a lenta cessione.

Tabella 2.8 - Valori medi provenienti dalla banca dati sugli ammendanti di A.R.P.A.V. anni 1995- 2007 - (ARPAV, Osservatorio Regionale per il Compostaggio, 1995-2007)

Determinazione	u.m.	Valori
Sostanza Organica	% s.s.	45
Azoto organico	% s.t.	92
Azoto totale	% s.s.	1,9
Azoto organico	% s.s.	1,7
Fosforo totale	% s.s.	0,6
Potassio totale	% s.s.	1,2

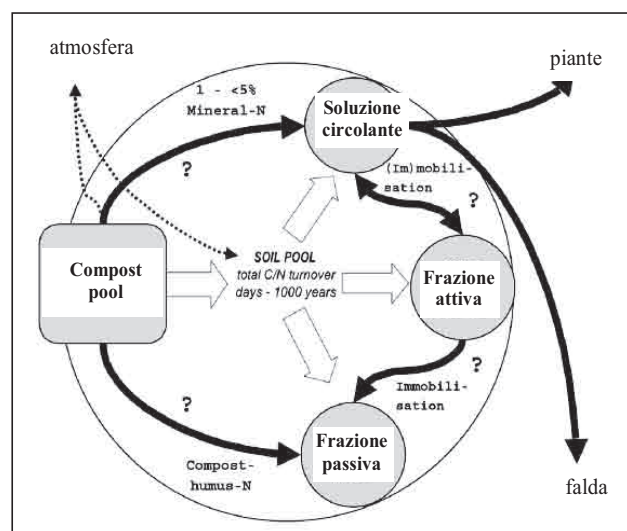
2.3.1 Dinamica dell'azoto negli ammendanti compostati

La dinamica dell'azoto apportato dagli ammendanti compostati nel terreno risulta complessa e influenzata dall'interazione di diversi fattori, come rappresentato in figura 2.5 (Amlinger *et al.*, 2003).

Come si può osservare, una piccola percentuale di azoto minerale (1 - 5% dell'azoto totale) passa direttamente nella soluzione circolante del terreno, rendendosi disponibile per la nutrizione delle piante, o al limite, a fenomeni di lisciviazione. La maggior parte dell'azoto entra invece a far parte di un accumulo temporaneo nel suolo che è suscettibile nel tempo di tre possibili trasformazioni: la mineralizzazione diretta e successivo trasferimento alla soluzione circolante; l'assimilazione nella biomassa microbica; l'immobilizzazione nelle sostanze umiche del terreno.

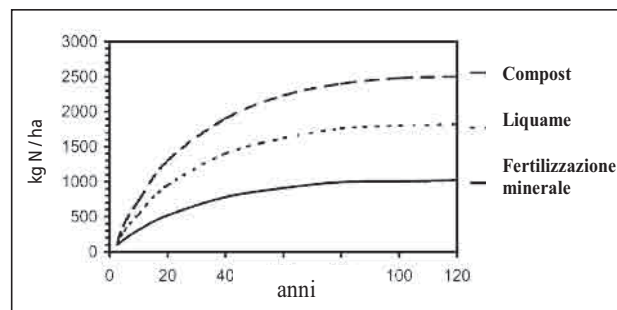
Il prevalere di un processo rispetto agli altri dipende in generale dalle caratteristiche del suolo e dell'ammendante compostato, in particolare dal suo contenuto in carbonio organico e dal grado di maturazione. Infatti, secondo Choi e Chang (2005) ammendanti compostati maturi (aventi un tempo di processo inferiore a un anno, come nel caso dei compost prodotti e impiegati in Veneto), grazie a un contenuto di carbonio facilmente disponibile, favoriscono lo sviluppo della flora microbica; di conseguenza prevale il fenomeno dell'immobilizzazione all'interno della biomassa microbica e si limita al minimo il rilascio nella soluzione circolante.

Figura 2.5 – Schematizzazione delle dinamiche dell'azoto del compost nel suolo (tradotto da Amlinger *et al.* 2003)



Ad ulteriore conferma di quanto sopra descritto, specifiche ricerche hanno studiato l'entità dell'accumulo di azoto organico nel suolo a seguito di diverse modalità di concimazione (fig. 2.6).

Figura 2.6 – Dinamica di accumulo dell'azoto nel suolo attraverso concimazione con ammendante compostato, liquame o concime minerale (Burchgraber K., 2000)



Come si può desumere dai grafici, l'impiego di ammendanti compostati, anche nel lungo periodo, consente di incrementare il contenuto in azoto non lisciviabile in modo più marcato rispetto ad altre fonti.

2.3.2 Rilascio di azoto da parte degli ammendanti compostati

Tenuto conto delle dinamiche sopra descritte, ulteriori studi hanno quantificato il rilascio di azoto, in situazioni pedoclimatiche ed agronomiche differenti. In particolare uno studio commissionato dal Lebensministerium (Ministero austriaco dell'agricoltura, foreste, ambiente, gestione delle acque) ripreso ed integrato da Amlinger *et al.* (2003), ha individuato le percentuali di rilascio di azoto da ammendante compostato di seguito indicate:

- fino all'8% dell'azoto totale fornito dal compost nei primi 2 anni;
- 3-5% dell'azoto totale fornito dal compost dal terzo anno in poi.

A livello normativo il Ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit –LNV (Ministero olandese per l'agricoltura, la natura e la qualità alimentare) ha emanato nel 2006 delle linee guida per la determinazione della quantità di azoto distribuito in funzione delle differenti tipologie di ammendanti e fertilizzanti impiegati. In particolare ha individuato dei fattori di conversione per calcolare la quantità di azoto prontamente disponibile nel caso di letami e ammendanti organici. Per quanto riguarda gli ammendanti compostati, è definito un coefficiente di azoto efficace pari al 10%.

2.3.3 Confronto fra ammendanti compostati e ammendanti non compostati

I processi biossidativi controllati attuati negli impianti di compostaggio, la cui gestione è puntualmente definita in Regione Veneto dalla D.G.R.V. 568/05, garantiscono che gli ammendanti compostati abbiano (con particolare riferimento all'organizzazione dell'azoto) le caratteristiche sopra specificate. Ciò differenzia sostanzialmente gli ammendanti compostati

da quelli non compostati, come ad esempio i letami, in quanto la normativa di riferimento prevede un trattamento costituito da uno stoccaggio prolungato in cumuli. In queste specifiche condizioni l'attività di organizzazione dell'azoto risulta meno efficiente anche a causa dell'instaurarsi di condizioni anaerobiche (che comunemente si verificano nel caso di cumuli statici) che favoriscono anzi la formazione di forme azotate estremamente mobili.

Come riportato in Tabaglio *et al.* (2008), in una prova della durata di sei anni in cui è stata studiata l'influenza dell'apporto di ammendante compostato e letame sulle caratte-

ristiche chimico – fisiche del terreno (vedi fig. 2.7), distribuendo il medesimo quantitativo di sostanza organica (10 t/ha) con ammendante compostato (tesi "C") e con letame (tesi "L"), si osserva nel terreno una maggior concentrazione di nitrati nella tesi trattata con letame, sebbene il quantitativo di N-TKN apportato sia maggiore in quella trattata con l'ammendante compostato. Questo conferma che il processo di maturazione del letame, condotto generalmente in cumuli statici, non è sempre idoneo a produrre un grado di organizzazione dell'azoto con la medesima efficienza di un processo aerobico controllato.

Figura 2.7 – Concentrazione di nitrati nello strato di terreno compreso fra 0 e 30 cm e fra 30 e 70 cm, in funzione della quantità di sostanza organica distribuita con ammendante compostato e letame. Si osservi in particolare l'andamento delle tesi "C" (ammendante compostato) e "L" (letame) che prevedono l'apporto del medesimo quantitativo di sostanza organica (10 t/ha/anno). (Tabaglio *et al.*, 2008)

