Riportare il carbonio nel suolo: la biologia ce la può fare?

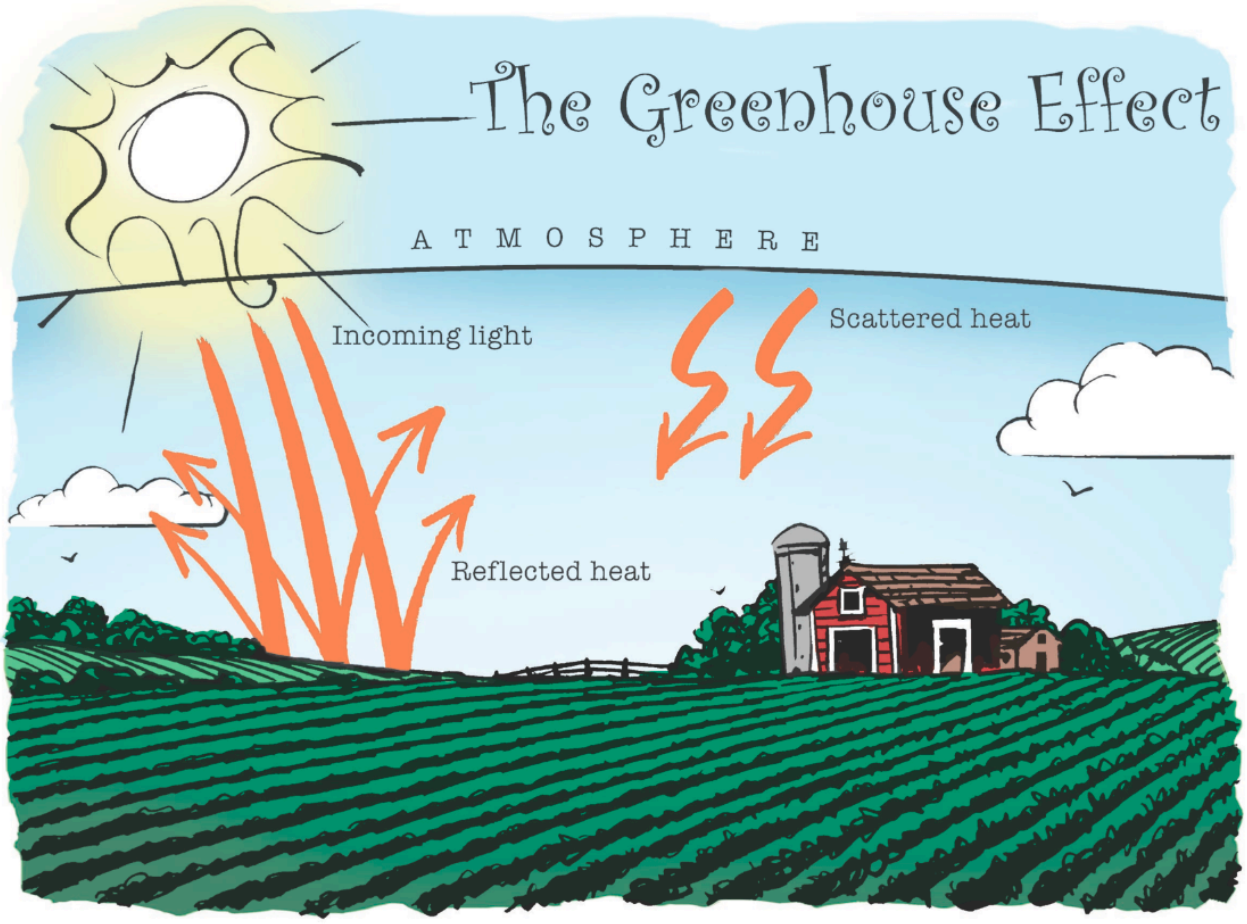
di Jack Kittredge,
policy director, NOFA/Mass

www.nofamass.org
Northeast Organic Farming Association/Massachusetts Chapter, Inc.

14 Agosto 2015

NOFA MASS
Northeast Organic Farming Association

Rigenerazione da traduzione internazionale. Per ulteriori informazioni, visitare il sito:
http://www.regenerationinternational.org/international-translations



Introduzione

Gran parte della discussione nei circoli scientifici e governativi si è recentemente incentrata su come far fronte alle emissioni dei gas serra e alle conseguenti condizioni atmosferiche estreme. La maggior parte degli analisti è convinta che occorra cessare l'uso di combustibili fossili se si vuol evitare che il carbonio nell'atmosfera aumenti ancora e che è necessario trovare i mezzi per rimuovere il carbonio già presente nell'atmosfera se si vogliono diminuire le crisi climatiche e le connesse tragedie umane, I dissesti economici e I conflitti sociali.

Ma dove si può immagazzinare il carbonio rimosso dall'atmosfera? C'è una sola soluzione praticabile – rimetterlo nel luogo a cui appartiene, nel suolo. Fortunatamente, questo non è un processo costoso. Tuttavia esso richiede che un gran numero di persone accetti di prendervi parte. Poiché pochi accetteranno di cambiare le loro abitudini senza una buona ragione, abbiamo scritto questo breve documento. Ci auguriamo che esso spieghi il problema della formazione del biossido di carbonio e dei cambiamenti climatici, come il carbonio può essere estratto dall'atmosfera e ricondotto nel suolo e i vantaggi che agricoltori e consumatori potranno trarre dalle coltivazioni in terreni ricchi di carbonio.

Il cambiamento climatico

Le anomalie climatiche sono notoriamente difficili da documentare. Per farlo occorrono dati di buona qualità su un lungo periodo di tempo e *standard* ben definiti su cosa costituisca un'anomalia. Recentemente, tuttavia, mentre un sempre maggior numero di persone ha cominciato a interessarsi al tema, lo sviluppo dei dati e degli *standard* è progredito. I fattori chiave nelle condizioni climatiche estreme sono la temperatura eccessiva, le precipitazioni e l'umidità dell'aria. Studi recenti hanno rilevato che i *record* nella media mensile delle temperature, gli eventi piovosi estremi e il contenuto medio di umidità dell'aria sono tutti aumentati nel periodo che va da 50 a 150 anni fa. (Coumou)

La maggior parte degli scienziati è convinta che la causa di tali imprevedibili eventi estremi sia la concentrazione “antropogena” (che ha la sua origine nelle attività umane) dei gas serra (GHG) nell'atmosfera. Studi basati su

modelli rigorosi e l'analisi degli eventi climatici estremi hanno riscontrato che uno dei fattori che contribuisce a tali eventi estremi è costituito dai cambiamenti climatici causati dalle attività umane. (Peterson) L'American Association for the Advancement of Science dichiara: ”Sulla base di prove consolidate circa il 97% degli scienziati ha concluso che è in corso un cambiamento climatico causato dalle attività umane.”(AAAS)

In che modo i gas serra causano il cambiamento climatico

I gas serra, soprattutto diossido di carbonio ma anche metano, ozono e ossido di nitro, per milioni di anni sono stati immessi nell'atmosfera dal suolo e dalle acque mediante processi naturali come la respirazione animale, l'emissione di gas tossici e le emissioni causate dai batteri fissatori dell'azoto. (EPA) Processi naturali hanno fatto ricadere questi gas nei luoghi di origine in un ciclo continuo. Fin quando la quantità dei gas emessi e quella dei gas ricaduti sono bilanciate, essi non causano alcun cambiamento climatico.

Un certo livello di gas serra nell'atmosfera è necessario. I gas serra bloccano le radiazioni solari in modo che la terra ne rifletta meno nello spazio. Di conseguenza aumenta la quantità di calore che muove le forze planetarie, causa degli eventi atmosferici. Se non avessimo una certa quantità di tali gas la terra sarebbe gelata tutto l'anno e troppo fredda per la vita umana. L'unità di misura del livello di un gas nell'atmosfera è chiamata “parti per milione” (ppm). Azoto, ossigeno e argo, i gas fondamentali nella nostra atmosfera, insieme assommano a 999.000 ppm. Nel corso di tutta la storia umana il livello nell'atmosfera di diossido di carbonio è rimasto a circa 280 ppm ovvero meno che lo 0,03%.

La perturbazione umana del ciclo del carbonio

Tuttavia, dall'alba dell'agricoltura, circa 12.000 anni fa, la deforestazione, il disboscamento e la lavorazione del suolo risultanti dalle attività umane hanno rilasciato diossido di carbonio in eccesso. Attraverso l'analisi e le tecniche di carotaggio del ghiaccio profondo, gli scienziati hanno individuato picchi di metano e diossido di carbonio nell'atmosfera che effettivamente corrispondono all'espansione dell'agricoltura in Mesopotamia e in Cina migliaia di anni fa. (Amundson)

Più recentemente, dal 1750 circa, con la rapida crescita dell'uso di combustibili fossili e la più recente industrializzazione dell'agricoltura, la scala e il numero di sorgenti di GHG sono aumentati drammaticamente. Con maggiori emissioni e ridotta caduta al suolo, il livello di diossido di carbonio nell'aria sta crescendo e ora è di 400 ppm.

La portata del problema
(per coloro che amano i numeri!)

Nota: Una tonnellata corrisponde a 1000 kilogrammi o 2204.6 libbre. Una Gigatonnellata (Gt) è un miliardo di tonnellate. Un ettaro è 10.000 metri quadrati o 2,47 acri.

Gli scienziati hanno stimato che è necessario ridurre il livello di diossido di carbonio nell'atmosfera a 350 ppm per evitare un disastroso cambiamento climatico. (NASA) (Molti ricercatori sostengono che un obiettivo più sicuro è il livello preindustriale stimato come 275-280 ppm, ma la gran parte del dibattito pubblico si è stabilizzata sul valore 350). Una ppm di diossido di carbonio nell'atmosfera equivale a 7,8 Gt di questo elemento. Una molecola di diossido di carbonio è costituita soprattutto da ossigeno, mentre il carbonio contenuto in essa è di poco maggiore di un quarto (27,3% per essere precisi). Perciò una ppm di diossido di carbonio nell'atmosfera contiene 2,125 Gt di carbonio (a scopo di esempio, questo equivale a circa un chilometro cubo di grafite solida).

Dunque è necessario che il livello di diossido di carbonio sia uguale o inferiore a 350 ppm mentre esso è già di 400 ppm e sta aumentando. Che cosa possiamo fare?

Diminuire le emissioni?

Non c'è nessun dubbio che l'umanità intera debba smettere di rilasciare nell'atmosfera quantità eccessive di gas serra.

Si stima che circa due terzi delle emissioni siano dovute all'uso dei combustibili fossili. (Ontl) Dobbiamo porre fine alla nostra dipendenza dai combustibili fossili e sviluppare fonti alternative di energia. Questo è ben noto ai governi. Sono nati gruppi internazionali per spingere verso questo obiettivo. Si tratta probabilmente del più difficile cambiamento da realizzare nella storia umana, ma dobbiamo cercare le politiche e i meccanismi perché questo avvenga, se vogliamo sopravvivere. Ma questo non è il nostro solo problema.

Supponiamo di riuscire a far cessare tutte le emissioni domani. I GHG che abbiamo già rilasciato nell'atmosfera continueranno a riscaldare il pianeta per decadi e forse per secoli. Il riscaldamento scioglierà i ghiacci e i suoli congelati, aumentando il livello dei mari e rilasciando grandi quantità dei gas serra attualmente congelati.

Questo è un problema potenziale nell'artico, per esempio. Lì una gran quantità di metano congelato, un potente GHG, può essere rilasciato nell'atmosfera a causa dello scongelamento. C'è inoltre un'enorme quantità di carbonio congelata nel permafrost. Il riscaldamento dell'ambiente lo espone alla digestione dei microbi che lo esaleranno come diossido di carbonio. Se la digestione avvenisse in un ambiente privo di ossigeno, come una palude o un acquitrino, il carbonio sarebbe rilasciato da altri microbi come metano. (NSIDC)

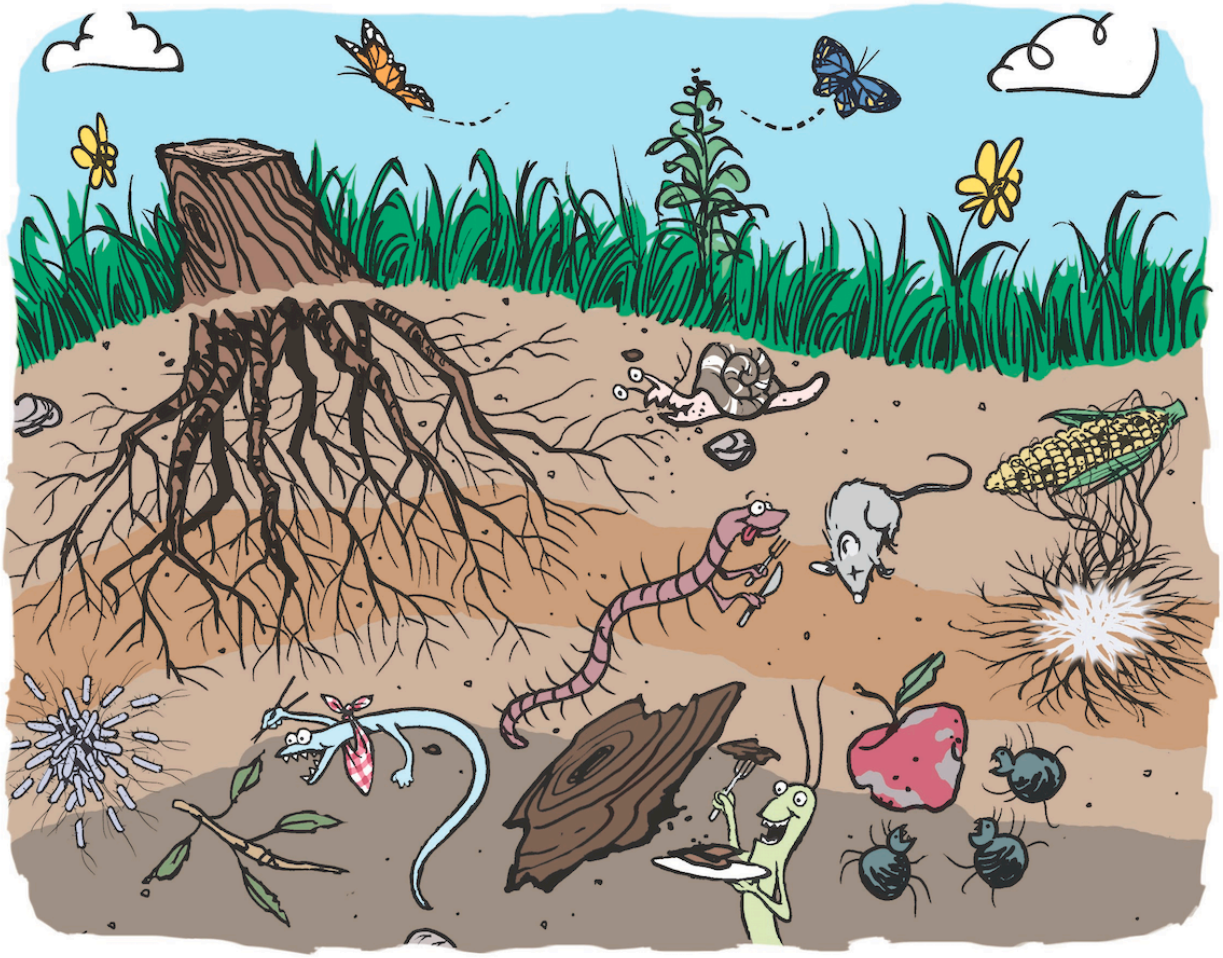
Dunque ridurre le emissioni non basta. Una volta fatto questo, bisogna anche interrompere l'innalzamento della temperatura globale. Se ci troviamo al livello di circa 400 ppm di diossido di carbonio nell'atmosfera e vogliamo scendere a 350 ppm rapidamente, dobbiamo estrarre il carbonio dall'atmosfera e sistemarlo da qualche parte. Dobbiamo trovare un deposito a lungo termine per 50 ppm di carbonio, cioè per 106,25 Gt di carbonio. Possiamo farcela?

Dove possiamo immagazzinare tutto quel carbonio?

Non possiamo depositare in modo sicuro il carbonio atmosferico nel 70% del pianeta che è ricoperto d'acqua. Il diossido di carbonio si scioglie nell'acqua formando acido carbonico. Da decenni stiamo assistendo agli effetti di un graduale aumento della quantità di acido carbonico nei nostri oceani.
Il Ph degli oceani è andato diminuendo mentre l'acidificazione ha ucciso molte forme di vita marina come i molluschi, i coralli e il plancton. (NOAA)

Depositare il carbonio nel suolo è invece un'altra cosa. E' da lì che proviene il carbonio ed è lì che esso è necessario. Gli scienziati stimano che dall'avvento della rivoluzione industriale il disboscamento e l'agricoltura hanno emesso nell'atmosfera 136 Gt di carbonio dai suoli di tutta la terra. (Lal 2004) Dunque a causa del disboscamento e della lavorazione il suolo ha perso più carbonio di quanto occorra restituirne. Quanto carbonio è ancora contenuto nel suolo? Immensamente di più. Ancora, gli scienziati stimano che nei 30 centimetri superiori (circa un piede) i suoli globali contengono circa 700 Gt di carbonio. Se si considera il primo metro di suolo (più di tre piedi) questo numero raggiunge circa 1500 Gt, più del doppio. (Powlson) Certamente il suolo, che una volta conteneva tutto questo carbonio, può tornare a contenerlo.

Ma prima di tentare di rispondere alla domanda se si possono riportare nel suolo 106,25 Gt di carbonio, cerchiamo di conoscere il suolo un po' meglio.

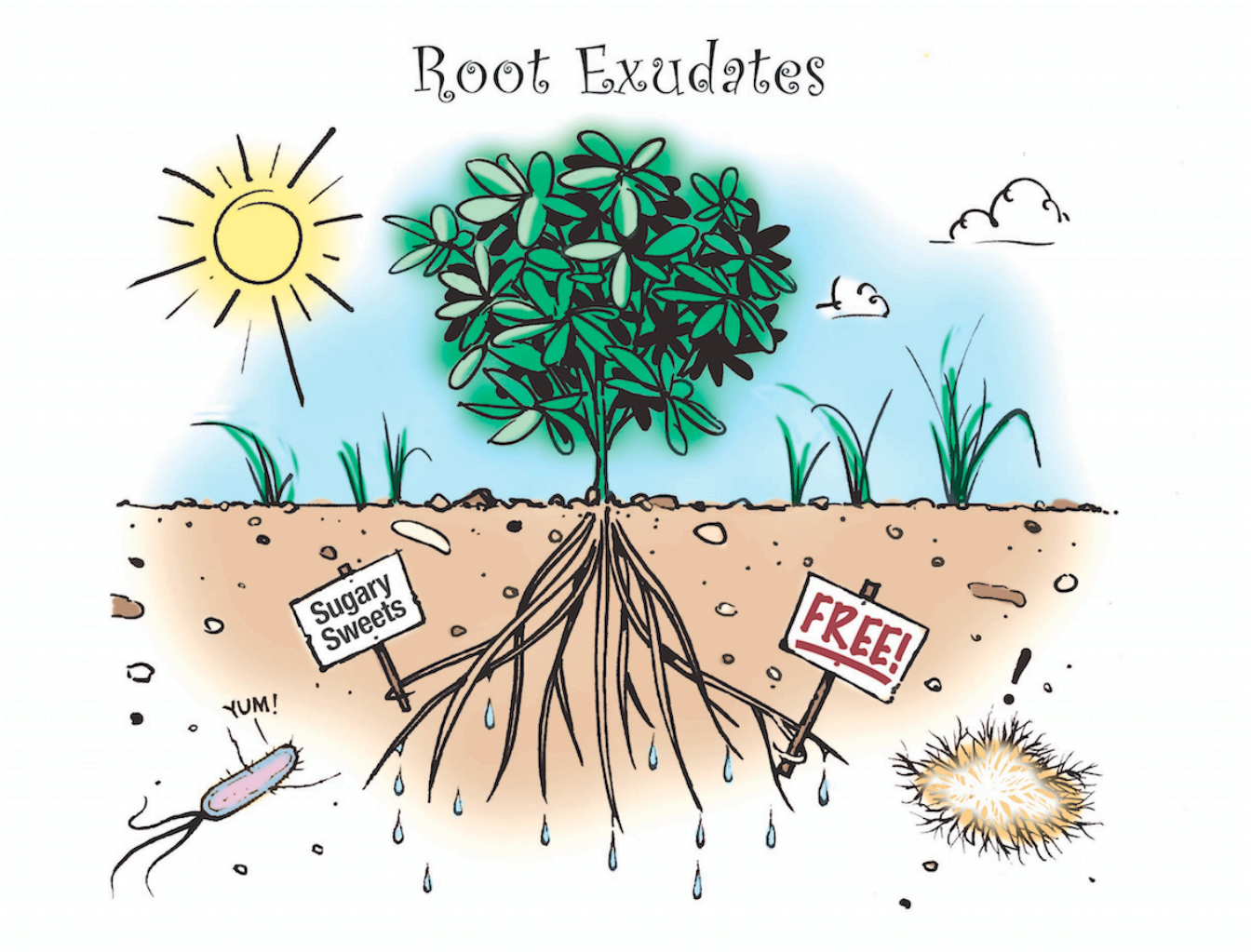


Il suolo ha fame di carbonio

Il suolo è letteralmente vivo. E' pieno di batteri, funghi, alghe, protozoi, nematodi e molte, molte altre creature. In un cucchiaino da tè di suolo sano ci sono più microbi che esseri umani sulla terra. (Hoorman) Naturalmente, essendo composta di forme di vita basate sul carbonio, questa brulicante comunità richiede un continuo approvvigionamento di materia organica per sopravvivere. Questa materia organica (circa il 58% della quale è carbonio) è costituita da organismi vivi, dai loro essudati che sono spesso zuccheri semplici e dai loro residui, spesso carboidrati come la cellulosa. Questi composti sono ricchi di energia, facilmente accessibili agli organismi e rapidamente assimilati dai microbi del suolo. La semivita degli zuccheri semplici nei suoli superficiali, per esempio, prima che siano consumati, può essere di meno di un'ora. (Dungait)

Questa tremenda fame di carbonio degli organismi del suolo implica che in un suolo sano essi rapidamente consumano la materia organica disponibile. Essa è catturata nei loro corpi o è trasformata in energia dalla combustione con l'emissione di diossido di carbonio. I microbi di un acro di mais nello Iowa liberano più diossido di carbonio di quanto facciano 25 uomini sani al lavoro. (Albrecht) Quando questi microbi muoiono il carbonio nei loro corpi diventa disponibile per altri organismi che lo decomporranno ed esaleranno.

L'attività degli organismi nel suolo segue cicli stagionali oppure quotidiani. Non tutti gli organismi sono attivi nello stesso momento. In ogni momento la maggior parte di essi sono scarsamente attivi o addirittura dormienti. La disponibilità di cibo è un importante fattore che influenza la popolazione e il livello di attività degli organismi nel suolo. (FAO)



La fotosintesi

Ma se il carbonio è consumato così rapidamente nel suolo, perché non svanisce altrettanto rapidamente?

La risposta è che le piante costantemente rinnovano la scorta. Dal momento della loro evoluzione 3,5 miliardi di anni fa, le piante hanno prosperato grazie al loro eccezionale potere di estrarre il carbonio dall'aria per condurlo nella materia vivente. Il processo, naturalmente, è chiamato fotosintesi, come viene insegnato a tutte le scolaresche.

Funziona così: la molecola della clorofilla nelle foglie delle piante consente loro di assorbire l'energia della luce ed usarla per scomporre le molecole di acqua (H_2O) in atomi di idrogeno ed ossigeno. La pianta allora rilascia nell'atmosfera gli atomi di ossigeno come ossigeno molecolare (due atomi di ossigeno legati insieme – O_2) mentre conserva temporaneamente gli atomi di idrogeno. Nel secondo stadio della fotosintesi gli atomi di idrogeno sono legati alle molecole di diossido di carbonio (CO_2) per creare carboidrati semplici come il glucosio *($C_6H_{12}O_6$).*

Questo processo, come tutte le reazioni chimiche, dipende dalla disponibilità dei componenti. Poiché il diossido di carbonio è presente nell'atmosfera con una concentrazione molto bassa (oggi 0,04%) esso è spesso il fattore limitante in questo processo. (RSC) A concentrazioni più alte si otterrà più energia dalla luce disponibile e la pianta tratterrà più acqua per aumentare la produzione di carboidrati. (Ontl) In altre situazioni, come di notte o in un periodo di siccità, la luce o l'acqua possono essere il fattore limitante.

La sola dimensione di questo processo è impressionante. Un acro di frumento in un anno può assorbire 8900 libbre (circa 4037 Kg) di carbonio nella forma di diossido di carbonio, combinarlo con l'acqua e trasformarlo in zucchero. Lo zucchero risultante peserà 22.000 libbre (circa 9980 Kg). Questo processo è così attivo che, si stima, ogni anno il 15% del diossido di carbonio nell'atmosfera in tutto il mondo si sposta attraverso gli organismi fotosintetici. *(SAPS)*

Gli essudati delle radici

La fotosintesi, naturalmente, dà alle piante e agli altri organismi fotosintetici (come le alghe blu-verdi) un ruolo speciale nella vita. Tutti gli esseri viventi sono a base di carbonio e hanno bisogno di consumare carbonio per sopravvivere. Chi può estrarre carbonio dalla semplice aria, come le piante, ha un determinante vantaggio. Ma anche chi non può realizzare composti col carbonio, deve averne a disposizione.

In quale altro modo i microbi riescono ad avere il carbonio? Lo possono "guadagnare"!

Uno dei fatti più notevoli che gli scienziati del suolo stanno imparando sulle piante e sugli organismi del suolo è che questi sembrano essersi co-evoluti in una relazione mutualmente vantaggiosa.

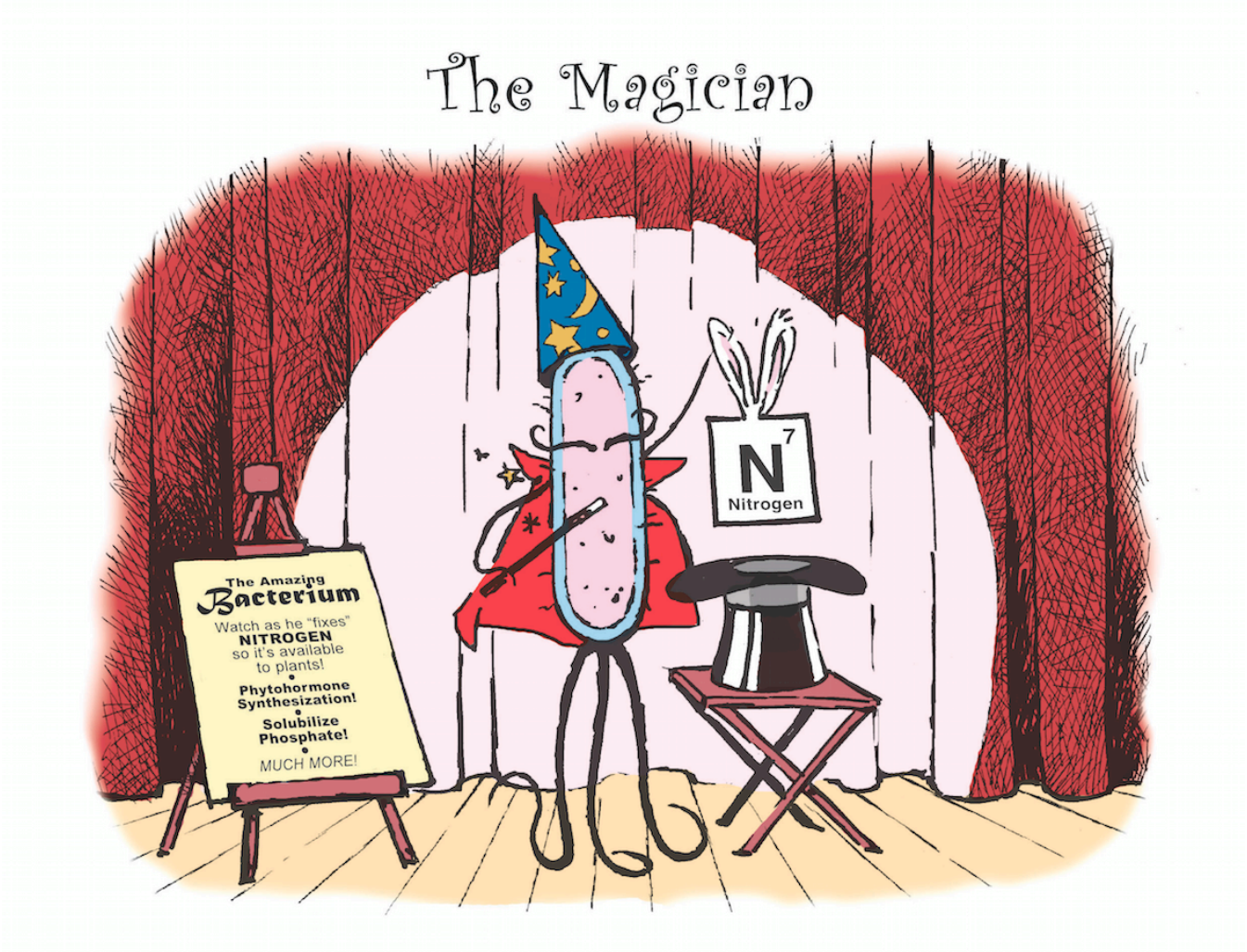
Quando le piante, attraverso la fotosintesi, creano carboidrati nei loro cloroplasti, usano parte di questi composti per le loro cellule e la loro struttura mentre l'altra parte viene bruciata per creare l'energia necessaria alla vita. Ma esse fanno "colare" o essudano una significativa quantità di questi composti come "carbonio liquido" nel suolo. (Jones SOS) Le stime variano, tuttavia tra il 20 e il 40 per cento del carbonio che una pianta fissa mediante la fotosintesi è trasferito nella rizosfera (la zona del suolo nelle immediate vicinanze delle radici). (Walker)

Ma perché mai una pianta dovrebbe disperdere la linfa zuccherina nel terreno?

Perché le serve da esca.

Batteri, funghi e altri affamati organismi del suolo arriveranno immediatamente per divorare il gustoso essudato delle radici ricco di carbonio. Ma ne vorranno immediatamente di più ed il miglior modo per ottenerne sarà quello di assistere la pianta perché ne aumenti la produzione. Una pianta sana e forte può dedicare più risorse alla fotosintesi ed essudare più carbonio. Dunque i microbi aiutano la pianta in molti modi diversi perché si sviluppi e produca più carbonio liquido.

I progressi nello studio della biochimica del suolo ci hanno fatto comprendere che, attraverso gli essudati delle radici, le piante controllano il loro ambiente – per regolare la comunità dei microbi nel suolo, per fronteggiare i predatori erbivori, per "farsi spedire" nutrienti distanti, per modificare le proprietà fisiche e chimiche del suolo più prossimo e per inibire la crescita di piante in competizione.



Simbiosi microbica

Occorre chiarire che gran parte di quanto segue è ancora oggetto di studio. Il suolo è una frontiera sulla quale ci sono ancora molte cose da imparare. La comunità microbica è estremamente differenziata – tra il 90 e il 99% delle sue specie non possono nemmeno essere coltivate in laboratorio con le tecniche correnti. (Jastrow)

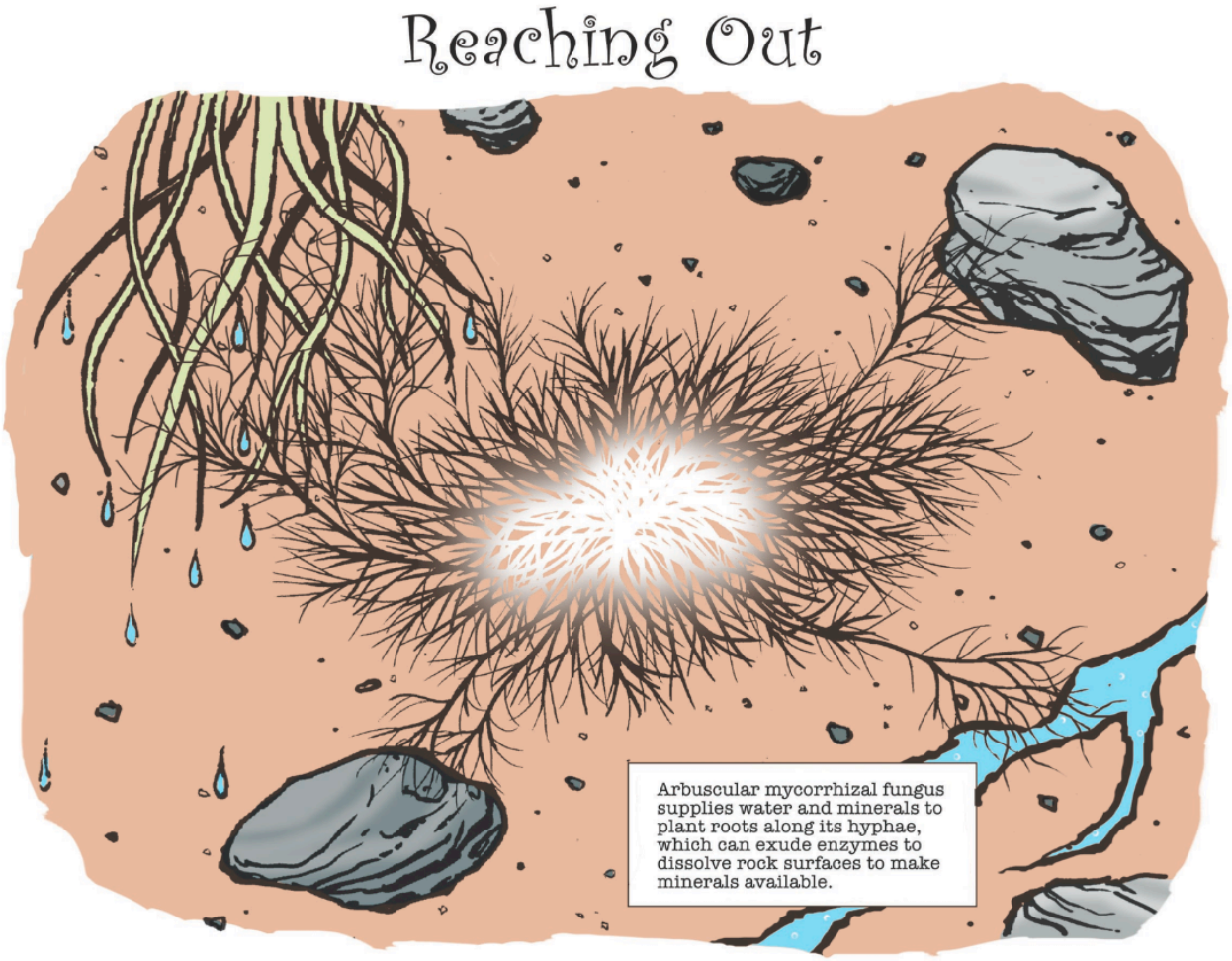
La comunità microbica del suolo, per quanto riguarda la massa, è costituita per più del 90% da batteri e funghi. Il rapporto esatto tra questi due tipi di organismi varia. I terreni intatti come praterie e foreste privilegiano i funghi le cui ife filamentose restano indisturbate. La lavorazione o l'uso di fertilizzanti sintetici azotati, invece, riduce la popolazione di funghi.

Un fattore primario del successo dei microbi dipende da quanto l'ambiente prossimo li protegge. La protezione può essere assicurata dalle argille che gli scienziati ritengono possano mantenere un pH ottimale, assorbire metaboliti pericolosi e/o prevenire l'essiccazione. Si pensa che i piccoli pori (per "nascondersi") nel substrato locale servono a evitare che gli organismi più piccoli siano divorati dai più grossi come i protozoi. (Six) E' stato calcolato che gli organismi protetti muoiono ad un tasso inferiore all' 1% al giorno mentre ogni giorno soccombe il 70% di quelli non protetti.

Batteri

I batteri sono chimici straordinari. Un gruppo di essi, chiamati batteri PGPR (*plant growth-promoting rhizobacteria*), esercitano la loro magia aiutando le piante per mezzo di diversi cammini biochimici. Alcuni "fissano" l'azoto dell'atmosfera in una forma disponibile per le piante. Altri sintetizzano i fitormoni che migliorano gli stadi della crescita delle piante. Ancora, altri possono solubilizzare il fosfato, un nutriente essenziale relativamente insolubile, per renderlo disponibile per la crescita delle piante, o producono fungicidi

naturali che aiutano le piante a resistere alle malattie causate da funghi. (Velivelli) Un PGPR è stato isolato in molte piante comuni come il grano, il trifoglio bianco e l'aglio. Questo batterio produce diversi antibiotici, sostanze che combattono i patogeni ed aiutano le piante a resistere alle malattie. (Timmusk)



Funghi

Un altro esempio di simbiosi microbica è quello dei funghi micorrizici arbuscolari. In questa simbiosi il fungo colonizza due diversi ambienti, le radici della pianta ospite e il suolo circostante, connettendoli con le sue lunghe ife. Questo consente alla pianta ospite di avere un supplemento di acqua e nutrienti minerali condotti attraverso le ife. Questa relazione è stata documentata per molti minerali, tra i quali fosforo, azoto, zinco e rame. (Jansa) In base ad alcune stime oltre il 90% delle piante terrestri gode di questa associazione con funghi micorrizici arbuscolari. (Cairney)

Alcuni scienziati stimano che dall'85 al 90 per cento dei nutrienti di cui le piante hanno bisogno sono acquisiti mediante scambio di carbonio ove gli essudati delle radici forniscono energia ai microbi in cambio di minerali o elementi traccia altrimenti indisponibili per le piante. (Jones SOS)

Queste relazioni costituiscono un vantaggio per entrambe le parti, a costo zero. La sola energia extra richiesta è fornita dalla luce del sole che permette alla pianta ora più forte di produrre più composti per dare energia e supporto ai microbi.

Aggregati del suolo

Un importante aspetto di questa storia è la struttura del suolo chiamata “aggregato”. Se si stringe nella mano del suolo sano e poi lo si rilascia, dovrebbe apparire come un pugno di piselli. Questi sono gli aggregati. Se il suolo rimane in pezzi duri, non è ben aggregato. Gli aggregati sono abbastanza stabili da resistere all'erosione del vento e dell'acqua ma abbastanza porosi da lasciar passare attraverso di essi l'aria, l'acqua e le radici.

Gli aggregati sono le unità fondamentali della funzione del suolo e giocano un ruolo simile a quello dei noduli delle radici delle leguminose, creando uno spazio protetto. (Jones SOS) L'aggregato si forma grazie alle ife dei funghi micorrizici che creano una "*sticky-string bag*" che avviluppa e intrappola le particelle di suolo. (Jastrow) Il carbonio liquido essuda dalle radici della pianta e i funghi rendono possibile la produzione di collanti e gomme per formare le pareti dell'aggregato. (Jones SOS)

Tra quelle pareti ha luogo un'intensa attività biologica, di nuovo alimentata dagli essudati di carbonio. La maggior parte degli aggregati sono connessi alle radici delle piante, spesso sottili radici alimentatrici, o a reticoli di funghi micorrizici invisibili a occhio nudo. Il contenuto di umidità all'interno dell'aggregato è più elevato che all'esterno e vi è una minore pressione dell'ossigeno. Queste sono importanti proprietà che rendono possibile la fissazione dell'azoto ed altre attività biochimiche. (Jones SOS)

Uno dei collanti importanti per la formazione degli aggregati è una glicoproteina chiamata "glomalina". La glomalina e la stabilità degli aggregati del suolo sembrano essere fortemente associati. (Nichols) Scoperta solo nel 1996, alcuni scienziati sono convinti che la sua presenza dia conto del 27 per cento del carbonio nel suolo e che duri per 40 anni, a seconda delle condizioni. Sembra che la glomalina sia prodotta da funghi micorrizici arbuscolari utilizzando il carbonio liquido essudato dalle piante. Permette alle ife dei funghi di avvolgersi alle radici ed alle particelle di terra e di sospendersi nell'aria. (Comis)

Ora che ne sappiamo di più sul suolo e su come il carbonio sia riversato in esso dalle piante per incoraggiare relazioni simbiotiche con i microbi, possiamo ripetere la domanda:

Quanto rapidamente possiamo riportare il carbonio nel suolo per mitigare gli eventi atmosferici estremi

Abbiamo visto sopra che una parte per milione di diossido di carbonio nell'atmosfera contiene 2,125 Gt di carbonio. Se è così, e siamo a 400 ppm dovendo ridurre a 350, dobbiamo restituire al suolo 50 ppm ovvero 106,25 Gt di carbonio.

Sappiamo che tutta questa quantità di carbonio si adatterà nel suolo perché è da lì che è venuta. Dall'inizio dell'era industriale abbiamo estratto 136 Gt di carbonio dal suolo con il disboscamento e l'agricoltura.

Ma quanto rapidamente potremo rimettere al suo posto quel carbonio? Negli ultimi 20 anni, da quando si è cominciato a pensare di riportare il carbonio nel suolo, sono stati fatti molti studi per misurare il tasso con cui la fotosintesi può immettere carbonio nel suolo. Abbiamo considerato un certo numero di questi studi, condotti nell'ultima decade circa, riguardanti molti diversi tipi di suolo sui cinque continenti e vari tipi di agricoltura. Gli studi usano metodologie diverse e naturalmente riportano risultati abbastanza diversi. Tuttavia, dalla lettura di essi molte cose risultano evidenti.

• I sistemi di vegetazione perenne possono ricostruire più carbonio di molte altre tecniche agricole. Tutti gli esperimenti condotti su pascoli hanno evidenziato quantità eccezionali di carbonio ricostruito, da 1,9 a 3,2 tonnellate di carbonio per acro all'anno, in media 2,6 tonnellate. (Machmuller, Rodale, IFOAM) Abbiamo trovato pochi studi su sistemi di coltivazioni perenni che immettono grandi quantità di carbonio nel suolo, ma c'è qualche evidenza che si possa riuscire con coltivazioni boschive perenni. Uno studio ha trovato che terreni degradati dall'attività estrattiva hanno guadagnato 2,8 tonnellate di carbonio per acro per anno quando vi sono state coltivate robinie che venivano potate fino alla radice in un sistema di rotazione breve. (Quinkenstein) Saranno necessari maggiori studi prima che si possa valutare appieno il contributo delle coltivazioni perenni boschive o erbacee per riportare il carbonio nel suolo.

• L'uso di fertilizzanti chimici, specialmente azoto e fosforo, riducono pericolosamente o in molti casi addirittura eliminano qualunque possibilità di riportare il carbonio nel suolo. Un uso opportuno di letame e compost, invece, non sembra impedire l'incremento di carbonio nel suolo. (Jones SOS, Rodale)

• Studi sulle coltivazioni di fila, anche quando realizzate senza sostanze chimiche sintetiche, hanno riferito di guadagni di carbonio minori rispetto agli studi sui pascoli, con una variazione da 0,23 a 1,66 tonnellate per acro, con una media di 0,55 tonnellate. (Khorramdel, IFOAM)

• La qualità delle pratiche di coltivazione studiate è variabile, soprattutto negli esperimenti sulle coltivazioni di fila. Virtualmente tutti gli studi sulle coltivazioni di fila che riferiscono di guadagni significativi sono quelli in cui si usa letame o compost invece dei fertilizzanti chimici. Ma quanto altri principi di ricostruzione del carbonio – come tenere il suolo perennemente ricoperto di piante, usare una grande varietà di colture di copertura, e minimizzare la lavorazione – sono stati usati non è chiaro. E' degno di nota, tuttavia, che nel caso in cui è stato registrato il maggior guadagno di carbonio da coltivazioni di fila, 1,66 tonnellate per acro di mais, l'esperimento ha usato pratiche biologiche di non lavorazione. (Khorramdel)

Dati questi risultati sperimentali, proviamo a fare dei calcoli grossolani sul potenziale che avrebbe l'agricoltura per riportare 106,25 Gt di carbonio nel suolo.

Secondo la FAO ci sono 8,3 miliardi di acri di pascoli sul globo e 3,8 miliardi di acri di terra coltivata. Se si volessero usare pratiche che favoriscono la restituzione del carbonio su tutti questi acri, ogni anno i pascoli, con la media di 2,6 tonnellate per acro, ne ricostruirebbero 21,6 Gt e le terre coltivate, con la media di 0,55 tonnellate per acro, ne ricostruirebbero 2,1 Gt. Poiché il nostro scopo è riportare 106,25 Gt, occorrerebbero meno di 5 anni per raggiungerlo!

Carbonio stabile

Naturalmente se vogliamo riportare una gran quantità di carbonio nel suolo, bisogna farlo in modo che i microbi non possano utilizzarlo. Altrimenti essi alla fine lo bruceranno rimandandolo nell'atmosfera sotto forma di diossido di carbonio. Molti studi hanno analizzato trattamenti per la materia organica del suolo per verificare se possano essere d'aiuto. Uno studio durato 10 anni ha messo a confronto la tecnica di incorporare i residui di materia organica in un sito con quella di rimuoverli in un altro sito simile al primo. Un altro studio, durato 31 anni, ha messo a confronto diverse rotazioni e applicazioni di fertilizzanti in siti diversi osservando variazioni fino al 50% della quantità di carbonio restituito al suolo. Un altro ha messo a confronto un sito in cui i residui della coltivazione sono stati bruciati per molti anni con un altro in cui sono stati incorporati nel suolo. Alla fine di ciascuno di questi studi i ricercatori, misurando la materia organica del suolo, non hanno trovato differenze significative tra i siti nonostante le differenze nei trattamenti. (Kirkby)

Se i microbi semplicemente si moltiplicheranno e consumeranno tutto il carbonio presente, non riusciremo mai ad averne livelli più alti nel suolo. In effetti, storicamente, livelli dal 6 al 10% nella materia organica del suolo sono comuni e in alcuni luoghi se ne è misurato fino al 20%. (LaSalle) Che cosa ha trattenuto gli organismi del suolo dal consumare la materia organica nel passato?

Una forma di carbonio che sembra rimanere stabile per anni, anche per secoli, è l'humus. E' composto da molecole complesse che contengono carbonio, ma non è facilmente decomponibile dalle forme di vita del suolo. Gli scienziati non sono completamente d'accordo su come si forma l'humus e come esso resiste alla decomposizione. Alcuni ritengono che l'humus sia una forma di carbonio estremamente recalcitrante formata dalla decomposizione microbica delle radici e dei prodotti delle radici. (Ontl)

Altri ritengono che i meccanismi che consentono la conservazione fisica del carbonio nel suolo sono legati alla sua capacità di resistere agli attacchi degli enzimi microbici per mezzo dell' ”adsorbimento” di minerali oppure della protezione negli aggregati del suolo. La prima modalità suggerisce un legame chimico con particelle di argilla o colloidi del suolo forte abbastanza da resistere agli attacchi degli enzimi. La seconda modalità potrebbe proteggere le molecole da un attacco degli enzimi tenendo l'ossigeno o altri elementi che favoriscono la decomposizione all'esterno dell'aggregato. C'è un'altra teoria che lega l'inaccessibilità del carbonio nel suolo agli attacchi microbici alla sua profondità nel suolo. (Dungait)

Tuttavia tra alcuni scienziati si sta sviluppando un punto di vista per cui il carbonio stabile non è prodotto dai residui della materia organica ma dallo stesso carbonio liquido. Questo punto di vista considera l'humus una costruzione degli organismi del suolo piuttosto che un prodotto della decomposizione della materia organica. (Meléndrez, Jones letter)

Gli studi che sostengono questo punto di vista suggeriscono che l'humus è un complesso organico-minerale composto da circa il 60% di carbonio, tra il 6% e l'8% di azoto e chimicamente legato ai minerali del suolo tra i quali il fosforo, lo zolfo, il ferro e l'alluminio. C'è anche qualche prova che la composizione dell'humus sia basata su specifici rapporti tra i suoi principali componenti, non solo tra il carbonio e l'azoto ma anche tra il

carbonio e lo zolfo. (Kirkby) Un ricercatore sostiene che l'humus si può formare solo in micrositi del suolo specializzati, come gli aggregati, dove l'azoto è fissato attivamente e il fosforo e lo zolfo sono solubilizzati. (Jones letter)

Come possiamo riportare e stabilizzare il carbonio nel suolo?

Via via che gli scienziati del suolo impareranno di più sui componenti e sui processi microbici che formano l'humus, avremo una migliore comprensione di come favorire la sua creazione. Ma vi sono prove che suggeriscono che produrre la materia organica del suolo non è semplicemente aggiungere materia organica al suolo. Il processo creerà una vivace comunità microbica e renderà floridi i raccolti. Ma per avere carbonio a lungo termine serve di più.

Quello che ci serve sapere è: quali pratiche servono per costruire e mantenere il carbonio nel suolo?

Mantenere il suolo ricoperto di vegetazione

Probabilmente la lezione più importante è che il suolo esposto ossida il carbonio mentre le piante lo proteggono. Le piante verdi formano una barriera tra l'aria e il suolo rallentando le emissioni di carbonio da parte dei microbi. Anche l'erosione del vento e dell'acqua è una grande nemica del carbonio nel suolo mentre lo sviluppo delle piante è la migliore protezione contro l'erosione. Infine, non solo le piante proteggono il carbonio nel suolo ma lo incrementano per mezzo del loro potere di fotosintesi.
In parole povere, ogni metro quadrato di suolo lasciato esposto – sia che si trovi tra file di seminato, perché c'è un campo coltivato, sia che, dopo la mietitura, il campo sia stato lasciato a riposo – riduce il deposito nella banca del carbonio.

Pratiche come la vegetazione invernale per ricoprire il suolo o seminare legumi insieme con il principale seminato o le colture di copertura sono importanti perché, dopo che il raccolto è stato fatto, c'è una copertura produttiva che incrementa il carbonio nel suolo, protegge contro l'erosione, nutre gli organismi del suolo e aumenta l'aggregazione. (Azeez)

Minimizzare la lavorazione

Una delle pratiche di ripristino del carbonio più difficili da adottare per i produttori biologici è la riduzione della lavorazione. Poiché gli agricoltori biologici non usano erbicidi, la lavorazione del suolo è la loro migliore arma contro le erbe infestanti. Ma la lavorazione produce molte deplorevoli conseguenze. Prima di tutto rimuove il suolo e, esponendolo all'aria, ossida il carbonio della parte esposta. In secondo luogo la lavorazione strappa e distrugge le ife dei funghi micorrizici, i microbi responsabili in gran parte della simbiosi che è così importante per il vigore delle piante e per l'aumento dell'essudazione di carbonio liquido. Le loro ife sono il delicato reticolo filamentoso che permea il suolo e porta acqua e nutrienti alle radici delle piante. Gli studi riferiscono di aumenti della biomassa fungina in tutti i siti in cui la lavorazione è ridotta. (Six) Terzo, la lavorazione distruggerà i complessi aggregati del suolo costruiti dagli essudati microbici per proteggere importanti trasformazioni chimiche come la fissazione dell'azoto e la stabilizzazione del carbonio. Quarto, la lavorazione tende a distruggere gli spazi porosi nel suolo che sono vitali per contenere l'aria e l'acqua che favoriscono la vitalità dei microbi. Infine, la lavorazione stessa richiede macchinari azionati per mezzo di combustibili fossili che rilasciano gas serra.

Vi sono studi che riferiscono che i sistemi di coltivazione biologica con i più alti livelli di ripristino del carbonio sono quelli che evitano la lavorazione e aggiungono abbondante materia organica – come sterco di bovini – al suolo. (Khorramdel) I critici della lavorazione sostengono che anche una sola lavorazione dopo molti anni può produrre una perdita della maggior parte del carbonio accumulato in tutto il periodo. (Lal 2007)

Alcuni studi riferiscono che il guadagno di carbonio nel suolo ottenuto evitando la lavorazione non è distribuito in profondità nel suolo ma resta in superficie. Questo è un problema, suggeriscono, perché per la formazione dell'humus e la stabilizzazione a lungo termine del carbonio sembra più efficace che questo si trovi in profondità nel suolo, più vicino all'argilla e ai minerali a cui il carbonio può legarsi per resistere all'ossidazione. Si sostiene anche che il tipo di materia organica prodotta con la tecnica di riduzione della lavorazione è incorporata solo nella frazione di suolo vicino alla superficie ed è facilmente ossidata non appena si presenta una causa di disturbo. (Azeez)

Alcuni studi che puntano l'attenzione sulla superficialità della materia organica prodotta in regime di non lavorazione, tuttavia, riferiscono anche di un lento sprofondamento dopo 10 o 15 anni, presumibilmente a causa sia della ridotta decomposizione della materia organica sia del mescolamento a lungo termine del suolo da parte degli organismi del suolo più grossi. (Powlson)

Si stanno progettando molti sistemi e strumenti utili ai produttori biologici per ridurre la lavorazione. Sono disponibili seminatrici che aprono il suolo solo quanto basta per depositare i semi o le piantine chiudendolo subito dopo. I r*oller-crimper* sono stati progettati per arrotolare i lunghi steli delle colture di copertura prima che esse fioriscano, eliminandole senza disturbare il suolo. La coltura destinata al mercato si può allora piantare tra le stoppie di quella di copertura. Senza dubbio saranno sviluppate molte altre buone idee per permettere ai produttori biologici la lotta contro le piante infestanti senza disturbare il suolo. E' sicuramente necessario un maggiore progresso su questo fronte.

Un metodo alternativo per controllare le piante infestanti è usare il pacciame per impedirne l'esposizione alla luce. Il tipo più semplice di pacciame è costituito da fogli di plastica. La loro produzione, tuttavia, di solito richiede l'uso di combustibili fossili e la loro rimozione può essere difficile e richiedere molto tempo. La pacciamatura con materiali organici come fieno o residui ridotti in strisce del raccolto aggiunge materia organica in decomposizione al suolo e produce carbonio, ma nei terreni biologicamente attivi richiede una continua aggiunta di materia, cosa che può essere costosa e richiedere tempo. L'inconveniente fondamentale della pacciamatura, tuttavia, è che essa non preleva carbonio dall'atmosfera per fissarlo nel suolo mediante la fotosintesi come fanno le piante vive.

Colture di copertura

Le colture di copertura sono essenziali in ogni strategia biologica per ridurre o eliminare la lavorazione, controllano le piante infestanti e ricostruiscono il carbonio nel suolo. Le candidate ideali come colture di copertura sono quelle che possono essere eliminate (mediante il gelo, la falciatura o lo schiacciamento) prima che fioriscano in modo che non producano semi e non diventino esse stesse infestanti. La loro fotosintesi è

un'importante sorgente di carbonio durante la loro vita mentre dopo che sono morte diventa disponibile la loro biomassa. I legumi sono importanti nell'assortimento delle colture di copertura perché, come il loglio o la segale, con le loro lunghe radici portano nutrienti dagli strati profondi del suolo aggiungendo azoto e carbonio in questi strati più bassi.

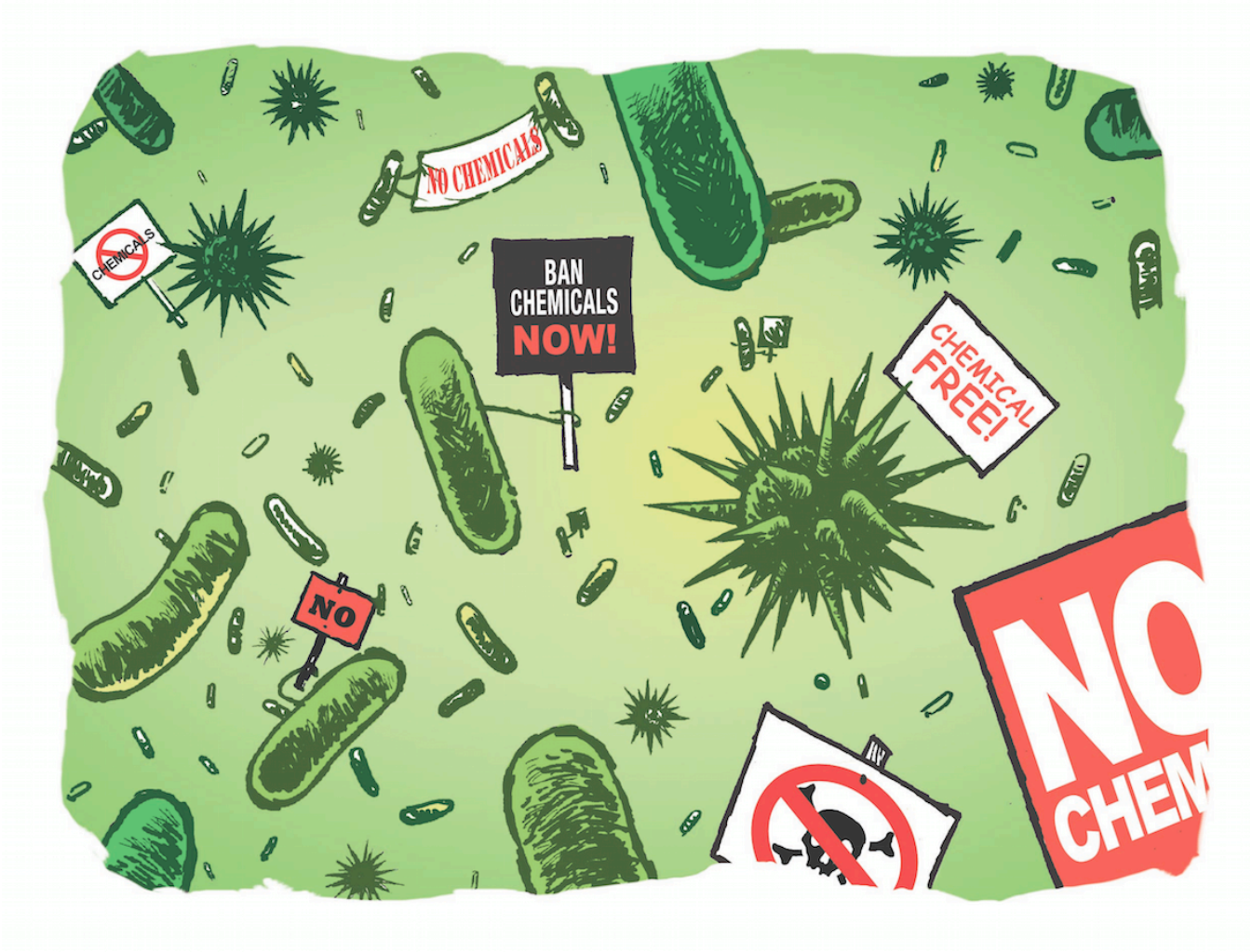
Oltre a incrementare il carbonio nel suolo, le colture di copertura riducono la filtrazione dell'azoto e abbattono l'erosione del vento e dell'acqua. Migliorano la struttura del suolo, aumentano l'infiltrazione dell'acqua e riducono l'evaporazione. Esse forniscono anche maggiori livelli di lignina rispetto alla maggior parte delle specie coltivate, favorendo così la crescita dei funghi micorrizici e i prodotti fungini come la glomalina che facilita i legami delle particelle del suolo. (Rodale, Azeez)

Diversità e rotazione delle colture

Una delle chiavi per sostenere la vita microbica nel suolo è incoraggiare la biodiversità. Uno dei principi della natura sembra essere che più biodiversità c'è in un sistema, più sano e resiliente è quel sistema. Questo vale anche per il ripristino del carbonio nel suolo. (Lal 2004) Sotto terra la biodiversità consente ad ogni microbo di occupare una nicchia nell'ordito del cibo – funghi, alghe , batteri, vermi, termiti, formiche, nematodi, scarabei stercorari, etc. Sulla terra le monocolture accolgono parassiti e malattie laddove la diversità delle colture impedisce la crescita e la diffusione degli infestanti. Questo vale sia per le colture sia per le colture di copertura, che devono essere costituite da molte piante di diverso tipo – piante a foglia larga ed erbe, legumi e non legumi, adatte al freddo e al caldo, al secco e all'umido. In qualsiasi condizione, ve ne saranno sempre in buona salute pronte a fotosintetizzare. "*Cocktail cover crops"* sono miscele di semi di molte varietà di colture di copertura ora disponibili sul mercato per garantire la biodiversità.

Anche la rotazione delle colture avvantaggia la biodiversità. La rotazione con colture di copertura continue elimina la necessità di lasciare i campi a riposo per ristorare la terra e incrementare l'attività degli enzimi del suolo. La biomassa microbica è maggiore se nella rotazione si utilizzano i legumi. (Six)

Tenere ruminanti al pascolo è un'altra comune modalità usata dai produttori biologici per aumentare i livelli di materia organica nel suolo. Il pascolo stesso promuove la crescita e il rinnovamento delle radici dell'erba – che forniscono carbonio ai microbi affamati del suolo. Pasture e sistemi perenni, se curati appropriatamente, possono mostrare una rapida crescita della materia organica. Il letame animale è uno dei prodotti più pregiati della piccola azienda agricola con allevamento, ricco com'è sia di carbonio sia dei microbi che inoculano il suolo di biodiversità.



No alle sostanze chimiche

L'uso delle sostanze chimiche di sintesi distrugge il carbonio nel suolo. Tossine come i pesticidi sono letali per gli organismi del suolo che svolgono un ruolo fondamentale nel sostenere la vitalità delle piante e la fotosintesi. E' stato anche dimostrato che i fertilizzanti esauriscono la materia organica del suolo. Nei *Rodale Institute's Compost Utilization Trials* l'uso di letame compostato insieme con la rotazione delle colture per dieci anni ha prodotto un guadagno di carbonio di 0,15 tonnellate per acro per anno. (LaSalle)

I *Morrow Plots* dell'Università dell'Illinois sono stati il sito di uno dei più lunghi esperimenti nella storia di conduzione controllata di una azienda agricola. I ricercatori hanno analizzato per 50 anni i dati di campi nei quali erano state aggiunte da 90 a 124 tonnellate di carbonio per acro ma che venivano anche fertilizzati con azoto sintetico. Quei campi in realtà hanno perso almeno 5 tonnellate di materia organica del suolo per acro lungo il periodo dell'esperimento. (Khan)

Viene suggerito che una causa dell'impatto negativo dei fertilizzanti sintetici sul carbonio del suolo è il fatto che essi tendono a ridurre le dimensioni e la profondità delle radici per il fatto che sono concentrati in uno strato poco profondo alla superficie del suolo piuttosto che diffondersi nel suolo come fanno i nutrienti provenienti dai legumi, dai minerali e da altre sorgenti naturali. (Azeez) Un'altra ragione può essere l'effetto sulla pianta dell'assorbimento degli ioni ammonio che le fanno rilasciare ioni idrogeno che acidificano il suolo. (Hepperly) Una terza possibilità è che la disponibilità di azoto gratis fa sì che la pianta abbia meno necessità di essudare carbonio liquido per ottenere l'azoto dai microbi. Se si sono usati fertilizzanti sintetici a base di azoto, tuttavia, e si vuole smettere di farlo, sarebbe saggio procedere gradualmente in tre o quattro anni perché ci vorrà del tempo affinché i batteri che fissano l'azoto si stabiliscano nel suolo. Una crisi d'astinenza potrebbe avere risultati disastrosi nel primo anno.

Il pascolo

Abbiamo detto prima che un'appropriata pratica della pastorizia è un metodo altamente efficace per restituire carbonio al suolo. Uno studio recente su un campo convertito dalla coltura di fila al pascolo intensivo ha mostrato una considerevole accumulazione di carbonio di 3,24 tonnellate per acro per anno. Siamo nell'ordine di grandezza delle erbe africane dalle lunghe radici piantate nelle savane del Sud America che hanno raggiunto livelli di 2,87 tonnellate di carbonio per acro per anno. (Machmuller)

Parte dell'efficacia dei pascoli nella fissazione del carbonio è probabilmente in relazione con il fatto che molte erbe usano il cammino chimico della fotosintesi C_4 che si è evoluto separatamente dal più usuale cammino C_3. Particolarmente adattata alle situazione di scarsezza di acqua, eccesso di luce e alte temperature, la fotosintesi C_4 è responsabile dal 25 fino al 30% di tutta la fissazione del carbonio sulla terra, nonostante essa sia utilizzata solo dal 3% delle piante con fiori. (Muller)

Alcuni sono preoccupati per l'allevamento di grandi numeri di ruminanti perché nel processo della digestione essi utilizzano batteri del rumine che producono metano, un gas serra, che poi l'animale esala. In un sistema ecologico questo non è un problema in quanto batteri metanotrofi, che vivono in una gran varietà di habitat e si nutrono solo di metano, lo metabolizzeranno rapidamente. Per esempio, dopo la perdita di petrolio della Deepwater Horizon nel Golfo del Messico, qualcosa come 220.000 tonnellate di metano risalirono alla superficie ma furono rapidamente consumate da una dilagante popolazione di batteri metanotrofi. E' soltanto quando i ruminanti non vivono su un suolo o vicino ad acque biologicamente attivi, come nelle stalle o su suoli su cui sono state pesantemente utilizzate sostanze chimiche di sintesi, che le emissioni di metano possono preoccupare. (Jones SOS)

Le foreste

La conversione dei suoli degradati in foreste è stata proposta come un modo per aumentare il carbonio nel suolo. Come per le altre piante, il tasso di ripristino del carbonio nel suolo nelle foreste dipende dal clima, dal tipo di suolo, dalle specie e dal trattamento dei nutrienti. Gli studi che abbiamo trovato sul carbonio nel suolo delle foreste generalmente mostrano modesti guadagni nel carbonio o, in alcuni casi, una perdita netta. (Lal 2004) Tuttavia alcuni suggeriscono che un appropriato trattamento degli alberi può portare un guadagno misurabile di carbonio nel suolo. (Quinkenstein) Inoltre la riforestazione può condurre in altri modi ad un mitigamento del clima e al recupero del ciclo dell'acqua.

Biochar

Recentemente ha attirato grande attenzione il potenziale che può avere l'uso dei residui bruciati per fertilizzare il suolo e, contemporaneamente, arricchirlo di carbonio. Riferendosi ai suoli dell'Amazzonia chiamati *terra preta*, terre nere antropogeniche arricchite di *char* più di 800 anni fa, i fautori di questa pratica citano l'alta fertilità che questi suoli hanno ancora oggi. Altri suoli contenenti char sono i *mollisol,* vasti suoli derivati da praterie nel Nord America, in Ucraina, Russia, Argentina e Uruguay che producono una significativa frazione del grano mondiale. Il *char* in questi suoli è stato attribuito agli incendi delle praterie che ebbero luogo nel passato. La chimica di questi residui di *char* è stata investigata solo recentemente. Le loro stabilità e fertilità possono essere messe in relazione con gli habitat protettivi che i loro spazi interni assicurano ai microbi oppure alla struttura molecolare del *char* che assicura una grande capacità di scambio cationico (la capacità di trattenere gli ioni dei minerali necessari per la nutrizione delle piante). (Mao)
Sebbene il *biochar* non sia stato studiato a lungo, i ricercatori suggeriscono che la biomassa di carbonio trasformata in *biochar* può sequestrare circa il 50% del suo iniziale carbonio nel suolo per lunghi periodi, conducendo ad una maggiore stabilità e durata del carbonio nel suolo di quanto non possa accadere nel caso della diretta applicazione al suolo di carbonio non bruciato. (Dungait)

Naturalmente ogni conversione di carbonio in *biochar* deve prevedere una verifica del ciclo vitale riguardo alla sorgente del carbonio, delle implicazioni del suo uso sul terreno e dell'energia necessaria per trasformarlo ed applicarlo. Vi sono tuttavia indicazioni che il *biochar* è un buon metodo per conferire maggiore stabilità alla materia organica nel suolo labile o facilmente decomponibile. (Powlson)

I vantaggi del ripristino del carbonio nel suolo

I vantaggi che derivano dal ricostruire la materia organica nel suolo non sono limitati alla rimozione del diossido di carbonio dall'atmosfera.

L'acqua

Incrementare il carbonio nel suolo crea aggregati che a loro volta agiscono come spugne che consentono al suolo di trattenere l'acqua, provvedendo così ad una riserva per le radici delle piante nei periodi di scarse precipitazioni e ad un bacino pronto per assorbire l'eccesso di acqua nei periodi di abbondanti precipitazioni. La capacità di trattenere l'acqua riduce anche il rischio di erosione e può favorire un miglioramento nella qualità e quantità del raccolto. Alcuni produttori pensano che le piante compagne o le colture di copertura consumeranno tutta l'acqua ed i nutrienti disponibili. Al contrario, sostenere i microbi del suolo con una varietà di piante in effetti migliora l'acquisizione dei nutrienti e la ritenzione dell'acqua. (Jones SOS)

E' interessante che dal 1930 i livelli medi massimo e minimo dell'acqua nel fiume Mississippi hanno raggiunto limiti più estremi – i livelli degli allagamenti sono più alti così come i livelli di secca sono più bassi. Questo accade perché l'acqua non infiltra il suolo come dovrebbe. Con una buona infiltrazione, parte dell'acqua alimenta le piante mentre l'altra parte fluisce lentamente attraverso il suolo per alimentare sorgenti e torrenti che assicurano una costante base di approvvigionamento al sistema fluviale. Ma se la copertura del suolo è scarsa, l'aggregazione del suolo diminuisce e l'acqua non può infiltrarsi bene. Perciò nelle piene l'acqua scorre in superficie ed erode il suolo mentre nei periodi di siccità non ce n'è alcuna riserva nel suolo né per le piante né per mantenere il flusso delle sorgenti e dei torrenti. (Jones SOS)

Il dominio dei funghi

Gli scienziati stanno scoprendo che un alto rapporto della quantità di funghi rispetto ai batteri nel suolo è molto importante per la generazione delle piante. Si può capire se c'è un tale rapporto dall'aroma di un pugno di suolo – deve sapere di fungo, non essere acido. Sono i funghi che trovano e forniscono acqua e nutrienti alle radici quando servono. Sfortunatamente, la gran parte dei nostri suoli agricoli sono dominati dai batteri piuttosto che dai funghi. Ma evitare l'esposizione del suolo, evitare la lavorazione, usare molte specie nelle colture di copertura e incoraggiare il pascolo ad alta densità ma breve durata con significativi periodi di riposo, tutto questo conduce il suolo alla dominanza dei funghi.

Raccolti migliori

Le piante, proprio come gli animali, hanno evoluto difese complesse contro i nemici. I loro meccanismi sono molteplici e intelligenti. Alcune si nascondono alla vista adottando difese visuali come imitare altre piante o mimetizzarsi. Altre scoraggiano gli attacchi con armature come spesse pareti cellulari, superfici cerose o cortecce dure. Ve ne sono che scoraggiano la predazione con aculei, spine o essudati appiccicosi e gommosi. Altre sintetizzano metaboliti secondari per prevenire gli attacchi chimicamente (veleni, repellenti, irritanti o anche composti organici volatili che attraggono i nemici del predatore della pianta). (Wink) Le piante inoltre intrattengono relazioni simbiotiche con batteri che sono in grado di inibire i patogeni locali difendendo la pianta dai loro attacchi.

Queste abilità, così come il sistema immunitario degli animali, sono più forti quando la pianta è sana. La salute è ottimale quando sono completamente soddisfatti i bisogni della pianta di luce solare, nutrimento, acqua, ossigeno e diossido di carbonio. E questo naturalmente è possibile in suoli sani con un alto contenuto di carbonio e una vasta e diversificata popolazione di microbi. Queste condizioni possono condurre a raccolti di alto potere nutritivo, resistenza ai parassiti e alle malattie, più antiossidanti e con maggiore durata di conservazione. (Gosling, Wink, Reganold)

Le piante che non sono danneggiate da malattie o predatori e vedono soddisfatti i loro bisogni nutritivi crescono floride e danno abbondanti raccolti. Inoltre le piante sane biosintetizzano di più le molecole volatili e i metaboliti maggiori che producono i profumi e i sapori dei raccolti. Dunque riportare il carbonio nel suolo è un modo per avvantaggiare tutti: gli agricoltori con raccolti più abbondanti, gli ortolani con frutti più saporiti e i consumatori con cibo più sano.

Conclusioni

Usare la biologia per ricostruire la materia organica nel suolo e stabilizzarla non solo è vantaggioso per chi lavora nella produzione agricola ma è anche vitale per la società. Abbiamo estratto troppo carbonio dal suolo, lo abbiamo bruciato e inviato nell'atmosfera come diossido di carbonio. Anche se smettessimo di bruciare combustibili fossili domani, i gas serra già presenti continueranno ad innalzare la temperatura globale e molti gas nocivi resteranno liberi per molti anni a venire.

Se vogliamo sopravvivere non abbiamo altra alternativa che riportare il carbonio nel suolo. Che questo possa essere fatto per mezzo della biologia, usando un metodo che ha funzionato per milioni di anni, è eccitante. Agricoltori, giardinieri, proprietari, paesaggisti – chiunque lavori per la terra – può seguire questi semplici principi e non solo riportare il carbonio nel suolo ma contribuire a ricostruire il meraviglioso sistema che la natura ha realizzato per rinnovare l'atmosfera fornendo nello stesso tempo cibo, bellezza e salute per tutta la creazione.

Fonti

AAAS, American Association for the Advancement of Science, (2014) What We Know: The Reality, Risks, and Response to Cli- mate Change

Albrecht WA, (1938) Loss of Soil Organic Matter and Its Restora- tion, Yearbook of Agriculture, USDA

Amundson R, Berhe AA, Hopmans JW, Olson C, Sztein AE, Sparks DL, (2015) Soil and human security in the 21st century, Science, 348, 1261071

Azeez G, (2009) Soil Carbon and Organic Farming, UK Soil As- sociation, http://www.soilassociation.org/LinkClick.aspx?fileticket= SSnOCMoqrXs%3D&tabid=387

Cairney JWG, (2000) Evolution of mycorrhiza systems, Naturwis- senschaften 87:467-475

Comis D, (2002) Glomalin: Hiding Place for a Third of the World's Stored Soil Carbon, Agricultural Research, http://agresearchmag. ars.usda.gov/2002/sep/soil

Coumou D, Rahmstorf S, (2012) A decade of weather extremes, Nature Climate Change, Vol. 2, July 2012, pages 491-496

Dungait JAJ, Hopkins DW, Gregory AS, Whitmore AP, (2012) Soil Organic Matter turnover is governed by accessibility not recalci- trance, Global Change Biology, **18**, 1781-1796

EPA Office of Atmospheric Programs, April 2010, Methane and Nitrous Oxide Emissions From Natural Sources

FAO, Organic matter decomposition and the soil food web, http:// www.fao.org/docrep/009/a0100e/a0100e05.htm

Gosling P, Hodge A, Goodlass G, Bending GD, (2006) Arbuscular mycorrhizal fungi and organic farming, Agriculture, Ecosystems and Environment 113 (2006) 17-35

Hepperly PR, (2015) Sentinels of the Soil, Acres USA, June, 2015

Hoorman JJ, Islam R, (2010) Understanding soil Microbes and Nutrient Recycling, Ohio State University Fact Sheet, SAG-16-10

IFOAM (2012) Submission from IFOAM to the HLPE on Climate Change and Food Security,

Jansa J, Bukovská P, Gryndler M, (May, 2013) Mycorrhizal hyphae as ecological niche for highly specialized hypersymbionts – or just soil free-riders? Frontiers in Plant Science, Volume 4 Article 134

Jastrow JD, Amonette JE, Bailey VL, (2006) Mechanisms control- ling soil carbon turnover and their potential application for enhanc- ing carbon sequestration, Climatic Change 80:5-23

Jones C, SOS (2015) Save Our Soils, Acres USA, Vol. 45, No. 3

Jones C, (2015) unpublished letter to an Ohio grazer, June 2015 and to author, July 2015

Khan SA, Mulvaney RL, Ellsworth TR, Boast CW, (2007) The myth of nitrogen fertilization for soil carbon sequestration, Journal of Environmental Quality; Nov/Dec 2007; Vol 36

Khorramdel S, Koocheki A, Mahallate MN, Khorasani R, (2013) Evaluation of carbon sequestration potential in corn fields with dif- ferent management systems, Soil and Tillage Research 133 25-31

Kirkby CA, Kirkegaard JA, Richardson AE, Wade LJ, Blanchard C, Batten G, (2011) Stable soil organic matter: A comparison of C:N:O:S ratios in Australian and other world soils, Geoderma 163 197-208

Lal R, (2004) Soil carbon sequestration to mitigate climate change, Geoderma 123 (2004) 1-22

Lal R, Follett RF, Stewart BA, Kimble JM, (2007) Soil carbon sequestration to mitigate climate change and advance food security, Soil Science 0038-075X/07/17212-943-956

LaSalle TJ, Hepperly P, (2008) Regenerative Organic Farming: A Solution to Global Warming, Rodale Institute, https://grist.files. wordpress.com/2009/06/rodale_research_paper-07_30_08.pdf

Machmuller M, Kramer MG, Cyle TK, Hill N, Hancock D, Thomp- son A, (2015) Emerging land use practices rapidly increase soil organic matter, Nature Communications 6, Article number 6995

Mao JD, Johnson RL, Lehmann J, Olk DC, Neves EG, Thompson ML, Schmidt-Rohr K, (2012) Abundant and stable char residues in soils: Implications for Soil Fertility and Carbon Sequestration, Environmental Science and Technology, 46, 9581-9576

Meléndrez M, (2014) The Journey to Better Soil Health, unpub- lished paper presented to the First International Humus Expert's Meeting, Kaindorf, Austria, January 22 and 23, 2014

Muller A, Gattinger A, (2013) Conceptual and Practical Aspects of Climate Change Mitigation Through Agriculture: Reducing Green- house Gas Emissions and Increasing Soul Carbon Sequestration, Research Institute of Organic Agriculture, Switzerland

NASA, (2008) Target Atmospheric CO_2: Where Should Humanity Aim? Science Briefs, Goddard Institute for Space Studies

NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration), What is Ocean Acidification? http://www.pmel.noaa.gov/

Nichols K, Millar J, (2013) Glomalin and Soil Aggregation under Six Management Systems in the Northern Great Plains, USA, Open Journal of Soil Science, Vol 3, No. 8, pp. 374-378,

NSIDC, (2015) Methane and Frozen Ground, National Snow and Ice Data Center, https://nsidc.org/cryosphere/frozenground/meth- ane.html

Ontl TA, Schulte LA (2012) Soil Carbon Storage, Nature Education Knowledge, 3(10):35

Peterson TC, Stott PA, Herring SC, Hoerling MP, (2013) Explain- ing Extreme Events of 2012 from a Climate Perspective, Special Supplement to the Bulletin of the American Meteorological Society, Vol. 9, No. 9

Powlson DS, Whitmore AP, Goulding WT, (2011) Soil carbon sequestration to mitigate climate change: a critical re-examination to identify the true and the false, European Journal of Soil Science, **62**, 42-55

Quinkenstein A, Böhm C, da Silva Matos E, Freese D, Hüttl RF, (2011) Assessing the carbon sequestration in short rotation coppices of Robinia pseudoacacia L. on marginal sites in northeast Germany, in Carbon Sequestration Potential of Agroforestry Systems: Op- portunities and Challenges, 201, Kumar BM and Nair PKR (editors) Advances in Agroforestry 8

Reganold JP, Andrews PK, Reeve JR, Carpenter-Boggs L, Schadt CW, Alldredge JR, Ross CF, Davies NM, Zhou J, (2010) Fruit and soil quality of organic and conventional strawberry agroecosystems, PLos One 5(10): 10-1371, Oct 6, 2010

Rodale (2014) Regenerative Organic Agriculture and Climate Change: A Down-to-Earth Solution to Global Warming, www. rodaleinstitute.org

RSC (Royal Society of Chemistry), Rate of Photosynthesis: limiting factors, http://www.rsc.org/learn-chemistry/content/filerepository/ CMP/00/001/068/Rate%20of%20photosynthesis%20limiting%20 factors.pdf

SAPS (Science and Plants for Schools), Measuring the rate of photosynthesis, (2015) http://www.saps.org.uk/secondary/teaching- resources/157-measuring-the-rate-of-photosynthesis

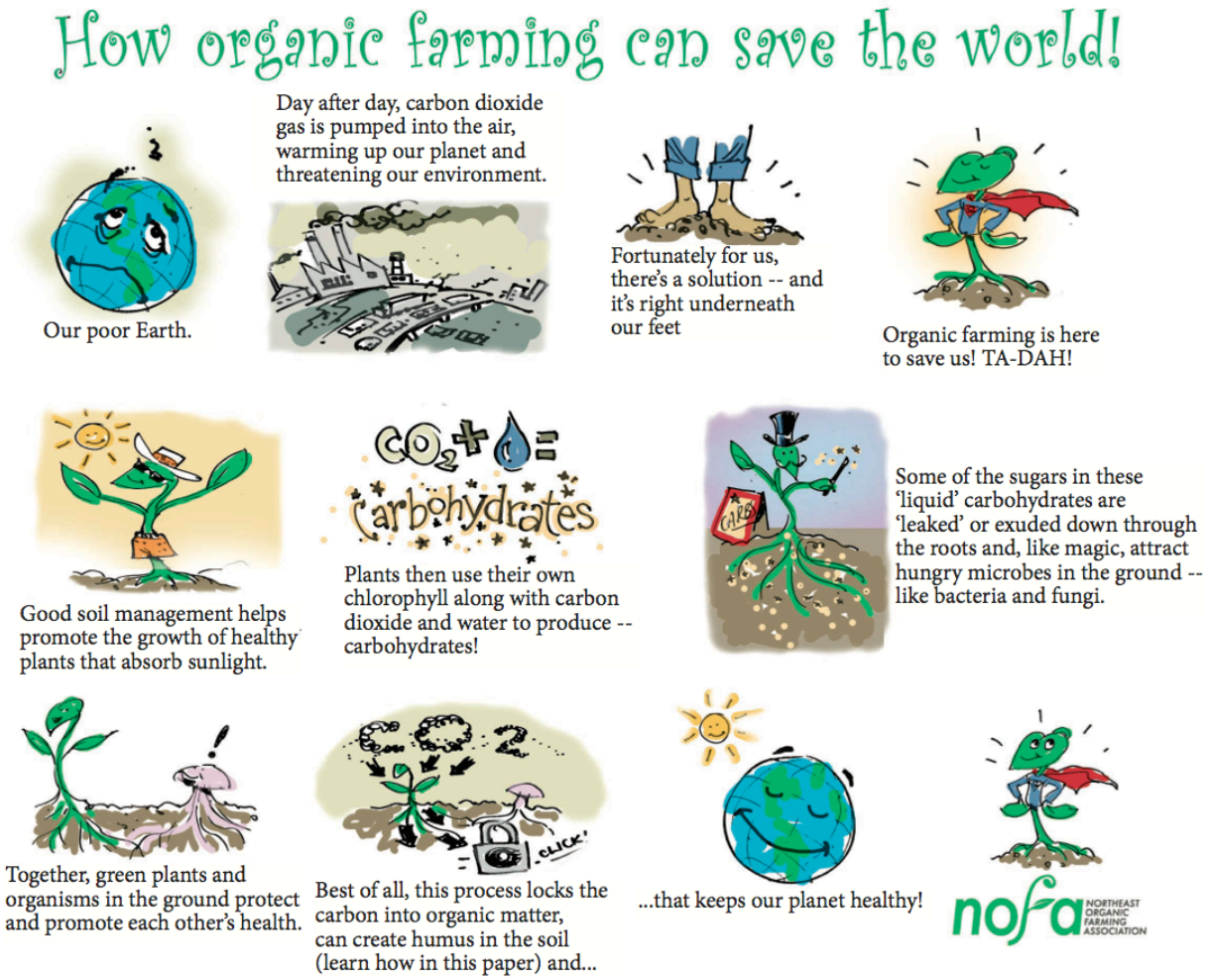
Six J, Frey SD, Thiet RK, Batten KM, (2006) Bacterial and fungal contributions to carbon sequestration in agroecosystems, Soil Sci- ence Society of America Journal 70:555–569

Timmusk S, Grantcharova N, Wagner EGH, (2005) Applied and Environmental Microbiology, Nov. 2005, P. 7292-7300

Velivelli SLS, (2011) How can bacteria benefit plants? Doctoral research at University College Cork, Ireland, published in The Boolean

Walker TS, Bais HP, Grotewold E, Vivanco JM, **(2003)** Root Exudation and Rhizosphere Biology, Plant Physiology vol. 132, no. 1, 44-51

Wink M (1988) Plant breeding: importance of plant secondary metabolites for protection against pathogens and herbivores, Theor. Appl. Genet. (1988) 75:225-233

Per ulteriori informazioni sulla restituzione del carbonio nel suolo:

www.nofamass.org/carbon