

Il sistema biologico del suolo in relazione alla risorsa idrica

INTRODUZIONE

Il compito che attende l'agricoltura nei prossimi anni è sempre lo stesso, cioè provvedere la comunità umana del cibo necessario alla sua sussistenza. Purtroppo a complicare le cose ci sono i problemi del *climate change*, della disponibilità idrica, della degradazione dei suoli e, non ultimo, della eccessiva sovrappopolazione del pianeta (attesi circa nove miliardi nel 2050).

Già il solo incremento della popolazione, che comporterà in pratica una drastica riduzione della superficie agricola pro-capite, quella cioè disponibile per sfamare ogni individuo, rappresenta una sfida tecnologica tremendamente ardua. Dovremo essere capaci di incrementare almeno del doppio gli attuali livelli di produttività per ettaro. Ad aggravare le cose va poi aggiunta la progressiva perdita di terreni coltivabili per cause antropiche, quali inquinamento, urbanizzazione e *climate change*. L'alterazione del profilo climatico potrebbe infatti provocare un cambiamento del profilo geografico di alcune colture, l'ulteriore perdita di terre coltivabili e la diminuzione delle risorse idriche disponibili. Relativamente alla diminuzione delle risorse idriche si dovrà anche considerare la forte competizione tra agricoltura e altri utilizzi (domestici e industriali) e l'effetto dell'inquinamento.

Sarà quindi necessario, per non dire vitale, lo sviluppo di una agricoltura che, rispettando l'ambiente e le sue risorse, risulti capace di adattarsi ai cambiamenti ambientali e nel contempo permetta di combinare una elevata produttività con la qualità nutrizionale degli alimenti.

* Dipartimento di Scienze delle Produzioni Agroalimentari e dell'Ambiente (DISPAA), Università di Firenze

Alla base di tale rinnovamento fondamentale sarà la nostra capacità di percepire il suolo non più come un mero substrato ma come un complesso sistema biologico, il più ricco ecosistema terrestre in termini di biodiversità, essenziale non solo per fornire alimenti ma anche per regolare il clima, depurare le acque, degradare e riciclare rifiuti.

L'ACQUA

L'acqua rappresenta una risorsa primaria per la presenza e il sostentamento della vita sul nostro pianeta. Purtroppo l'acqua dolce, cioè quella utile per l'uomo e le sue attività, risulta limitata. Infatti l'acqua sulla terra è per il 97% salata e solo il rimanente 3% è rappresentato da acqua dolce. La criticità di questo dato viene ulteriormente aggravata dal fatto che molta acqua dolce non è facilmente disponibile; infatti, il 68% dell'acqua dolce è contenuto nei ghiacciai, un ulteriore 30% risulta presente nel sottosuolo (acqua sotterranea) e solo l'1% circa è presente in superficie, in forma liquida e quindi immediatamente utilizzabile (fiumi, laghi e stagni).

Ad aggiungere ulteriore "drammaticità" vi è la constatazione di una progressiva erosione del "limitato" quantitativo di acqua dolce per cause antropiche, quali inquinamento e contaminazione, oltre all'eccessivo consumo con salinizzazione delle riserve di acqua del sottosuolo (falda freatica), soprattutto nelle zone costiere, per risalita di acqua marina salata. Relativamente ai fenomeni di inquinamento delle acque dolci è da considerare che ogni anno circa due milioni di persone muoiono a causa dell'utilizzo di acque inquinate e/o contaminate per uso domestico (alimentazione). A ciò si devono aggiungere gli effetti generati dal riscaldamento globale. Infatti, il progressivo innalzamento delle temperature provoca lo scioglimento delle riserve idriche contenute nei ghiacciai che vanno per la maggioranza a finire nel mare, diventando così salate e non utilizzabili. Inoltre l'aumento dei fenomeni di "bombe d'acqua", cioè eventi piovosi intensi e brevi, sempre generato dal *climate change*, oltre a causare una perdita di acqua dolce, generano anche intensi fenomeni di erosione nei suoli, con perdita degli orizzonti superficiali più fertili, generando quindi anche un danno all'agricoltura. Da considerare che i tempi di ricostituzione delle riserve idriche del suolo, soprattutto per la ricostituzione della falda freatica profonda, sono molto lunghi.

A tutto questo si deve aggiungere il costante e drammatico incremento demografico che porterà nel 2050 alla presenza di circa nove miliardi di persone sul nostro pianeta. Questo causerà una drastica riduzione del quantitativo di

acqua dolce pro-capite che andrà ad abbinarsi alla corrispondente riduzione della superficie coltivabile pro-capite, rappresentando una sfida tecnologica estrema per le future generazioni, e se non adeguatamente fronteggiata, avrà esiti devastanti sia sulla popolazione mondiale sia sugli equilibri geo-politici attualmente in essere. Infine da considerare anche la progressiva erosione della quantità di acqua destinata attualmente all'agricoltura (circa il 70%) per utilizzi industriali e domestici.

RILEVANZA DELL'ACQUA PER FERTILITÀ DEL SUOLO

Sulla Terra l'acqua copre il 70,8% della sua superficie, e, più o meno con la stessa percentuale, è il maggior costituente del corpo umano. Estendendo tale similitudine a un suolo e alla sua funzionalità, e quindi alla sua fertilità, l'acqua tellurica è paragonabile al sangue, e la struttura del suolo, con la sua porosità e la presenza di capillari, è paragonabile al sistema venoso e arterioso. Nell'insieme, la struttura del suolo e l'acqua tellurica rappresentano il sistema circolatorio del suolo e come tali garantiscono la circolazione nei nutrienti all'interno del suolo, l'eliminazione delle scorie, la regolazione termica e il movimento di elementi costituzionali, di estrema importanza per la funzionalità del suolo. Oltre a questo, il movimento dell'acqua sia superficiale che sotto superficiale rappresenta un importante fattore di formazione ed evoluzione del suolo (pedogenesi ed erosione).

Lo stato fisico con cui l'acqua è presente nel suolo ha un forte impatto sulla sua funzione e disponibilità. Per esempio l'acqua sotto forma nivale esercita un'azione di controllo termico del suolo, sia impedendo che l'orizzonte sotto il manto nevoso raggiunga temperature sotto lo zero, sia evitando che l'acqua tellurica superficiale ghiacci. Inoltre, la neve, avendo colorazione bianca, contribuisce ad aumentare la capacità della terra di riflettere la radiazione solare incidente, contenendo il riscaldamento globale del pianeta. Quando l'acqua è allo stato liquido, consente di contenere il riscaldamento degli orizzonti superficiali in modo diretto e indiretto: direttamente attraverso il fenomeno dell'evaporazione che, così come nel corpo umano attraverso la sudorazione, consente di smaltire calore nel passaggio di stato dell'acqua da liquida a gassosa; indirettamente attraverso la copertura vegetale del suolo, presente grazie all'acqua tellurica, la quale, attraverso l'azione dei pigmenti riflette la radiazione incidente, ne riduce il valore realmente insistente sul suolo.

Relativamente all'utilizzo dell'acqua da parte degli organismi viventi presenti nel suolo, la quantità effettivamente utilizzabile, cioè bio-disponibile,

è espressa come *attività dell'acqua* (aw) e rappresenta un parametro molto importante per determinare la fertilità di un suolo, indipendentemente dalla quantità totale di acqua tellurica. L'*attività dell'acqua* è definita come il rapporto fra tensione del vapor d'acqua del suolo (P) e la tensione del vapor d'acqua (P_o) allo stato puro, alla stessa temperatura: $aw = P/P_o$.

L'acqua pura ha una $aw = 1$, ciò significa che con valori di aw vicini a 1 siamo di fronte ad acqua quasi completamente disponibile, mentre con valori di aw significativamente al di sotto di 1, l'acqua comincia a essere trattenuta dal suolo fino ad arrivare a non essere più disponibile per gli organismi viventi (microrganismi e piante). L'optimum di aw per lo sviluppo microbico è molto vicino allo 0,9 con valori minimi vicini a 0,6.

La quantità di acqua liquida presente in un suolo e le sue variazioni possono giocare un ruolo rilevante nella produzione e rilascio di gas serra nell'atmosfera, quali N_2O , CH_4 , CO_2 . Infatti i fenomeni di sommersione, inducendo un ambiente anaerobico nel suolo, favoriscono lo sviluppo di condizioni riducenti e di comunità microbiche anaerobiche, le quali, degradando la sostanza organica, producono CH_4 , con conseguente potenziale effetto serra di circa 30 CO_2 equivalenti. Nelle fasi invece di alternanza tra sommersione e areazione, quindi di condizioni riducenti e ossidanti, si ha sviluppo di ossidi di azoto, gas con il più elevato potenziale effetto serra (circa 300 CO_2 equivalenti). Nelle normali condizioni di umidità invece i suoli sono definiti aerobici con condizioni prevalentemente ossidanti, e le comunità batteriche in essi presenti svolgono al meglio i processi degradativi della sostanza organica, con abbondante sviluppo di CO_2 .

Relativamente all'effetto che l'atteso incremento di CO_2 nell'atmosfera potrebbe esercitare sul contenuto idrico e aw del suolo, dati sperimentali hanno evidenziato come elevati valori di CO_2 atmosferici causeranno probabilmente, assieme a un attendibile incremento della produttività delle piante, anche un loro miglioramento nella *Water Use Efficiency* (WUE), espressa come grammi di biomassa prodotta per chilogrammo di acqua consumata, a causa della riduzione dei fenomeni di evapo-traspirazione (ET). Questo dovrebbe generare un incremento del contenuto idrico dei suoli.

APPROCCI PER MIGLIORARE L'EFFICIENZA DI UTILIZZO DELL'ACQUA NEL SUOLO

Al fine di migliorare la capacità di accumulo di acqua del suolo, particolare attenzione deve essere posta nella scelta delle idonee pratiche di *soil management*, al fine di migliorarne le caratteristiche chimico-fisiche necessarie a incre-

mentarne la capacità di invaso. In questo modo il suolo sarà più efficiente nel gestire gli eccessi idrici, sia in difetto (siccità) che in eccesso (forte ruscellamento superficiale e anche sommersione), attenuandone la comparsa e le conseguenze in termini di riduzione e anche compromissione della fertilità. Nel caso di forte carenza di acqua, il progressivo inaridimento degli orizzonti superficiali causa fenomeni di fessurazione profonda, con conseguente incremento delle perdite di acqua per evaporazione. Inoltre, l'eccessiva polverulenza del suolo superficiale lo rende fortemente soggetto a fenomeni erosivi eolici. Viceversa, in caso di eccesso idrico, nei suoli con pendenza si ha la saturazione del suolo con induzione di fenomeni di ruscellamento superficiale, con conseguenti fenomeni erosivi (idrici); nel caso di suoli pianeggianti o in avvallamenti, si possono avere fenomeni di sommersione, con perdita di funzionalità da parte dei suoli e conseguenti problemi di utilizzo per l'agricoltura.

Il principale obiettivo a cui si deve mirare per garantire al suolo la migliore efficienza nell'utilizzo dell'acqua è lo sviluppo di una strutturazione del suolo, attraverso la formazione degli aggregati (micro- e macro-aggregati). Attraverso la formazione e il corretto rapporto tra micro e macro-aggregati si viene a creare nel suolo una micro e macro porosità, fondamentale per garantire al suolo la capacità di trattenere e diffondere sia soluti che gas negli strati sottosuperficiali. Tale organizzazione viene definita "struttura" la quale induce nel suolo anche la possibile risalita per capillarità dell'acqua contro il gradiente di gravità, richiamata dagli strati più profondi a causa dell'evaporazione dell'acqua superficiale. Questo è possibile grazie alla interconnessione tra i pori degli aggregati che si susseguono lungo il profilo e che vanno a formare una rete di capillari che permette la risalita dell'acqua, grazie alla tensione superficiale dei menischi di acqua che ivi si formano.

La formazione degli aggregati dipende dalla tessitura del suolo e dalla presenza di sostanza organica e altri cementi. Nel caso della tessitura, cioè della distribuzione dimensionale dei componenti minerali presenti, la presenza della frazione argillosa (fra cui minerali argillosi secondari, originatisi dalla alterazione delle rocce primarie), dotata di proprietà colloidali (cioè di aggregare i vari minerali in base alla carica superficiale), è molto importante nella formazione degli aggregati. Similmente la presenza di sostanza organica, sia nella sua componente meno degradabile, sia come componente colloidale, conferisce al suolo la capacità di aggregare i vari componenti minerali per formare aggregati, grazie alla presenza di gruppi funzionali. Tali aggregati risultano sufficientemente stabili al variare dei parametri ambientali, permettendo così al suolo una buona capacità di mantenere la efficienza funzionale e quindi la fertilità in condizioni di stress idrici.

Di interesse sono anche le recenti prove di un forte coinvolgimento della componente biotica (microrganismi) nel regolare l'organizzazione strutturale dei suoli in relazione agli stress idrici. Sono stati infatti recentemente studiati dei batteri capaci di modificare il diametro dei pori negli aggregati al variare del contenuto idrico del suolo aumentandone il diametro in presenza di acqua e, viceversa, diminuendolo in caso di carenza.

Di notevole rilevanza sono anche le strategie adattative "passive", senza alterazione dell'ambiente circostante, che i microrganismi possono mettere in atto per resistere alle condizioni di stress idrici e ambientali. Tra queste ricordiamo la capacità di sporificare, cioè di entrare in uno stato di quiescenza con ridottissima attività metabolica, simile al letargo per alcuni animali. Da citare poi la capacità di formare dei biofilm protettivi che isolano le colonie batteriche dall'ambiente circostante creando una micro-nicchia più ospitale rispetto all'ambiente esterno, con conseguente aumento delle capacità di resistenza e persistenza della colonia batterica. Tale fenomeno avviene attraverso la capacità di indurre alcuni componenti della comunità al sacrificio estremo, cioè alla morte per lisi cellulare, in modo da permettere agli altri di salvarsi dallo stress idrico tramite la formazione dei biofilm. Tale strategia è definita *kin selection*. Di notevole rilevanza è inoltre da ricordare il processo noto come *vetrificazione citoplasmatica*. Tale strategia permette ai batteri di rispondere ai danni da carenza idrica attraverso l'aumento della concentrazione dei soluti cellulari, in modo da evitare la perdita di liquidi per osmosi. Relativamente alla resistenza alle basse temperature, alcuni batteri individuati nei suoli artici hanno mostrato la capacità di indurre la formazione di ghiaccio sulla loro superficie prima che la temperatura raggiunga lo zero, evitando di ghiacciare e quindi andare incontro a morte per lisi cellulare, indotta dal repentino e drastico aumento di volume dell'acqua intracellulare. Tali batteri sono definiti *ice nucleating bacteria*. Un'ulteriore strategia adattiva è quella associata alla capacità di alcune specie batteriche di fare corrispondere a un unico genotipo, ovvero un unico patrimonio genetico (DNA), una differente espressione dell'informazione in esso contenuta, in modo da avere fenotipi diversi, ovvero individui della stessa specie con caratteristiche diverse. In questo modo, al variare delle condizioni ambientali ci sarà sempre un fenotipo adatto. Tale strategia viene definita *bet-hedging*. Relativamente all'adattabilità delle piante a condizioni di carenza idrica è da citare una ricerca finanziata con il progetto Firb "*Strategy to improve crop productivity under water stress conditions*", del Ministero dell'Università e della Ricerca italiano e dall'Unione europea, nell'ambito del progetto Bidesert, e supportata dall'Università degli Studi di Milano, dall'European social fund e dalla Regione Lombardia.

La ricerca ha evidenziato l'importanza delle interazioni tra microrganismi e apparato radicale nel favorire la crescita vegetale anche in condizioni di forte scarsità di acqua. Il *desert farming*, ovvero «le pratiche agricole messe in atto nell'agricoltura in regioni aride e desertiche, sono un fattore cruciale per la selezione di microrganismi benefici nel suolo che sono in grado di sostenere la crescita vegetale in condizioni di siccità». Nel 2012, una ricerca condotta da Ramona Marasco e colleghi, intitolata "A Drought Resistance-Promoting Microbiome Is Selected by Root System under Desert Farming" e pubblicata su Plos One, ha ribadito la rilevanza delle interazioni pianta-microrganismi e suolo, proprie della rizosfera, per aumentare l'efficienza di utilizzo delle risorse idriche da parte delle piante. Nella ricerca si è descritto l'arricchimento di suoli aridi con batteri capaci di incrementare la fotosintesi e quindi la produzione di biomassa del 40%.

Una società situata negli Emirato Arabi Uniti (EAU), "DIME" ha creato una sabbia impermeabile idrofoba. L'obiettivo è quello di impedire il rilascio dell'umidità che si forma nel deserto durante la notte, rendendola disponibile alle radici delle piante. Questo sottilissima coltre di "super sabbia", caratterizzata da bassa richiesta idrica dovuta alla maggior efficienza nel suo utilizzo, è attualmente in fase di produzione al ritmo di 3000 tonnellate al giorno e promette una rivoluzione nella coltivazione dei suoli aridi. L'utilizzo dell'umidità atmosferica sotto forma di nebbia è stata applicata nel deserto dell'Atacama (Atacama è uno di quei rari casi – come il Namib Desert della Namibia – in cui per un mix di ragioni orografico-climatiche, tanto più ci si avvicina il mare tanto meno piove) attraverso l'utilizzo di speciali teli per raccogliere l'umidità che risale dal vicino Pacifico la quale, successivamente alla sua condensazione per inversione termica, verrà fatta poi percolare in apposite piscine di raccolta. Tale tecnica ha permesso di riforestare zone desertiche dell'Atacama. Le maglie di solito sono realizzate con materiali plastici facilmente ottenibili e poco costosi. Questa tecnica è stata recentemente migliorata dagli scienziati del MIT, attraverso una speciale struttura in grado di raccogliere fino a cinque volte il quantitativo che fino a ora era possibile raccogliere. Tale incremento dell'efficienza di raccolta dell'acqua è stato ottenuto stringendo le maglie delle reti giganti, studiate per convogliare le goccioline raccolte in un contenitore finale. La migliore efficienza di raccolta è stata ottenuta utilizzando maglie ottenute con cavi di acciaio inox dello spessore di 3 o 4 volte un capello umano, distanziate di circa il doppio della loro misura.

La rete messa a punto presenta inoltre come particolarità un rivestimento che consente alle piccole gocce di scivolare più facilmente giù nella canalina di raccolta non appena si formano, prima che il vento le soffi fuori dalla superficie e le reinserisca nel flusso della nebbia.

Un'ulteriore tecnica, da poter applicare nel caso di suoli sabbiosi per indurre la formazione di una struttura e quindi della capacità di meglio gestire la risorsa idrica, consiste nello stimolare la formazione delle croste biologiche. Lo sviluppo di tali croste si basa sull'inoculo nel suolo di ciano batteri, organismi fotosintetizzanti con capacità di estrarre composti polisaccaridici. Tali batteri possono così ingenerare il ciclo del carbonio nel suolo favorendo inoltre la formazione di una microstruttura superficiale con conseguente capacità di supportare la crescita e la successione di altre piante, definite pioniere. L'attività radicale di tali piante, attraverso l'estrusione di vari composti organici (essudati radicali), necessari per il reperimento dei nutrienti e per indurre la formazione di struttura nel suolo limitrofo (la rizosfera), estenderebbe la fertilità del suolo anche agli orizzonti sottosuperficiali.

Relativamente all'utilizzo di acque con elevato contenuto salino è necessario conoscerne il livello di salinità applicando la formula del *leaching requirement* che calcola la quantità addizionale rispetto alle richieste delle coltivazioni in essere, ed è atta a compensare l'igroscopicità del sale che riduce la quantità di acqua disponibile per le piante (vedi attività dell'acqua). Tale accorgimento, nei casi di scarsa disponibilità idrica, sarà poi abbinata alla *drop irrigation* che, distribuendo l'acqua in prossimità della rizosfera, permette una riduzione del quantitativo richiesto e sposta inoltre l'eccesso salino ai margini della zona di radicazione. Questa tecnica risulta particolarmente utile in caso di salinità sodica delle acque e/o del suolo; questa è infatti particolarmente pericolosa a causa del carattere deflocculante del sodio in presenza di acque, che compromette così la stabilità degli aggregati con conseguente destrutturazione del suolo.

CONCLUSIONI

Il presente articolo non vuole essere una esaustiva trattazione della rilevanza dell'acqua per l'agricoltura ma solo fornire al lettore un primo approccio sulla tematica sottolineando alcune "particolarità" di interesse utili per una migliore comprensione dell'argomento nei successivi approfondimenti che il lettore riterrà opportuno attuare.

A conclusione di quanto riportato è doveroso considerare l'attuale prevalenza di un'agricoltura di tipo intensivo esclusivamente dedicato all'ottenimento delle massime rese produttive. Tale modello agricolo non considera l'utilizzo ecosostenibile delle risorse naturali né la salvaguardia della biodiversità in relazione alla flessibilità adattativa dell'ecosistema agricolo agli stress

ambientali, quali quelli indotti dal cambiamento climatico, risultando quindi assolutamente inadatto a rispondere alle sfide attese.

Alla base del rinnovamento richiesto all'agricoltura deve esserci la percezione del suolo come un complesso sistema biologico, essenziale non solo per fornire alimenti ma anche per regolare il clima, depurare le acque, degradare e riciclare rifiuti, stoccare in modo sicuro inquinanti (*ecological services*). Questa rivoluzione culturale rispetto al suolo dovrà riguardare soprattutto gli agricoltori che dovranno sentire l'onore e la responsabilità di gestire al meglio un patrimonio dell'umanità capace di fornire un elevato numero di *ecological services*.

Questo dovrà essere sostenuto dallo sviluppo delle nostre capacità di selezione di nuove varietà di piante, capaci di meglio adattarsi alle condizioni ambientali attese, e di integrare e gestire le possibilità legate alle nuove tecnologie per selezionare le migliori pratiche agricole e valutarne l'efficienza. Tutto ciò permetterà di realizzare un'agricoltura vicina al raggiungimento del *zero CO₂ emission production e del close the loop* nella gestione delle risorse, massimizzandone il riciclo.

RIASSUNTO

Il compito che attende l'agricoltura nei prossimi anni è sempre lo stesso, cioè provvedere la comunità umana del cibo necessario alla sua sussistenza. Purtroppo a complicare le cose ci sono i problemi del *climate change*, della disponibilità idrica, della degradazione dei suoli e, non ultimo, della eccessiva sovrappopolazione del pianeta (attesi circa nove miliardi nel 2050).

Ad aggravare le cose va poi aggiunta la progressiva perdita di terreni coltivabili per cause antropiche, quali inquinamento, urbanizzazione e *climate change*. L'alterazione del profilo climatico potrebbe infatti provocare un cambiamento del profilo geografico di alcune colture, l'ulteriore perdita di terre coltivabili e la diminuzione delle risorse idriche disponibili.

Sarà quindi necessario, per non dire vitale, lo sviluppo di una agricoltura che, rispettando l'ambiente e le sue risorse, risulti capace di adattarsi ai cambiamenti ambientali e nel contempo permetta di combinare una elevata produttività con la qualità nutrizionale degli alimenti.

Alla base di tale rinnovamento fondamentale sarà la nostra capacità di percepire il suolo non più come un mero substrato ma come un complesso sistema biologico, il più ricco ecosistema terrestre in termini di biodiversità, essenziale non solo per fornire alimenti ma anche per regolare il clima, depurare le acque, degradare e riciclare rifiuti.

ABSTRACT

The main goal that characterize the agriculture in the near and far future will be the same of the past one, supply the human community of enough food. Unfortunately respect to the past there are now new and relevant aspect to consider such as climate change,

increase of human population, water availability, pollution and the dominance of a non conservative intensive agriculture model that is totally devoted to the yields without consider the food quality and sustainability.

It is well known that life in soil is key to sustaining our food production, ecosystem maintenance and control of global atmosphere and climate warming, exerting thus a relevant *ecological service*. On this assumption it will be necessary to develop of a new *smart agricultural system* characterize by an high Economical and Environmental sustainability, in the respect of the environment, to maintain yields and to increase food quality. With the intent to *close the loop* of resource management maximizing their recycling, new soil management (abiotic and biotic) practices and plant breeding should be develop, coupled with the utilization of the remote sensing of intra-field variations data to evaluate the efficiency of adopted strategy. In this way the agricultural soil could operate *ecological services*.