

La metà nascosta

Giuliano Mosca e Teofilo Vamerli

DAFNAE - Università degli Studi di Padova.

Il ruolo strategico delle radici delle piante ha sempre destato una notevole curiosità, in quanto coinvolta in numerosi processi che incidono sia sul miglioramento quanti-qualitativo della produzione vegetale, sia sulla sua sostenibilità ambientale. L'interesse per quest'ambito di indagine è tutt'ora attuale e la ricerca incentrata sullo studio delle radici appare oggi orientata in modo sempre più puntuale alla conoscenza delle reciproche interazioni tra parte aerea e pedosfera, e la "metà nascosta" della pianta.

Le nuove conoscenze sugli apparati radicali che da molte parti fanno irruzione nel campo delle Scienze agrarie non si sommano a quelle proprie delle singole discipline (agronomia, arboricoltura, ecologia vegetale agraria, etc.), ma le trasformano e le arricchiscono, consentendo una visione più aggiornata e moderna dei vari problemi delle tematiche agro-ambientali. In ambito internazionale da alcuni decenni si è costituita l'International Society of Root Research (ISRR).

Il prossimo appuntamento, previsto per il 24 – 28 Maggio, 2021 University of Missouri Columbia, Missouri, US, prenderà in esame i seguenti temi: Radice e Sviluppo del sistema radicale, Approccio di fenotipizzazione radicale, Biologia dello stress radicale, Radici alimentari, L'interfaccia suolo-radice, Comunicazione sotterranea, Interazioni "Radice-microrganismi", Relazioni con acqua e nutrienti, Tecnologie di analisi d'immagine per le funzioni radicali, Modellazione dei processi radicali e rizosfera, Sistemi di radici innestate e comunicazione intraimpianto, Servizi ecosistemici/sistemi radicali perennanti.

Il presente testo deriva da una cospicua attività di ricerca realizzata presso il "Laboratorio degli apparati radicali" di DAFNAE (Dipartimento di Agronomia, Animali, Alimenti, Risorse naturali e Ambiente) dell'Università di Padova i cui risultati sono stati pubblicati su riviste scientifiche internazionali in ben due decenni di ricerca.

E' ben noto come la radice svolga un ruolo chiave in numerosi processi fondamentali, tra cui l'organizzazione dell'intero sistema radicale, l'assorbimento dei nutrienti, le simbiosi microbiche, gli essudati emessi e le varie risposte adattative agli stress. Le radici delle piante superiori svolgono un ruolo chiave nei principali servizi di supporto ecosistemici, come la genesi del suolo, i cicli biogeochimici e la creazione di habitat per una presenza di biota estremamente diversificati. L'accrescimento delle radici è fondamentale ai fini dell'adattamento ambientale e della tolleranza della pianta a situazioni di stress, come quelle rappresentate dalla siccità o al contrario da eccesso idrico, salinità, scarsa fertilità o inquinamento dei suoli. Grazie al loro apparato radicale le piante possono vantare una notevole capacità di intercettazione di fitonutrienti ed altri ioni minerali dalla rizosfera, che si traduce in una capacità di estrazione di nutrienti quantificabile annualmente e complessivamente per tutti i vegetali in 5×10^9 miliardi di tonnellate di minerali. Se confrontato con l'estrazione antropica, il rapporto tra le due entità si stabilizza su 5:1 a favore delle piante. Questo risultato trova la sua motivazione nell'evoluzione dei vegetali che ha dato origine a sistemi radicali che, grazie ad una progressiva ripartizione e ramificazione, presentano una superficie di contatto con la rizosfera straordinariamente ampia. Presso la Station d'Agronomie dell'INRA di Tolosa, Robert Blanchet e collaboratori, già nel 1986, avevano stimato che un ettaro di soia irrigua riesce a differenziare un sistema radicale la cui lunghezza complessiva può simbolicamente compiere una volta e mezza la circonferenza terrestre. Tra le innumerevoli peculiarità che caratterizzano la rizosfera è da annoverare anche il sequestro del carbonio, che esercita un certo impatto sul cosiddetto "global change". Il sistema radicale e i suoi essudati rappresentano infatti una cospicua fonte di immobilizzazione di carbonio organico a diverso grado di rimobilizzazione.

Utilizzando una serie di approcci e terminologie mutuati dalla scienza dei materiali è stato accertato che le radici influenzano le proprietà fisiche del suolo, questo spiega come gli essudati radicali migliorino i processi di incollaggio interparticellare, di dispersione e di aggregazione, mentre le radici agiscono come un'armatura in fibra. Tutte queste funzioni sono ampiamente influenzate dal suo *turnover*, ossia dalla dinamica di formazione-accrescimento e morte-decomposizione. La sua incidenza è molto significativa: si ricorda, ad esempio, che in numerose conifere ogni anno dal 30 all'86% delle radici si disattiva e viene rinnovato; spostandoci poi sulle

specie erbacee annuali si può constatare come in barbabietola da zucchero meno circa della metà delle radici fibrose prodotte nel ciclo risultino ancora attive al momento dell'estirpo finale. Il *turnover* influenza direttamente il potenziale di assorbimento dell'acqua e dei nutrienti e l'intensità di interscambio di messaggi e nutrienti con la rizosfera.

A fini produttivi, tranne nei casi di attacchi parassitari, la credenza che "per ottenere una resa elevata non è sempre indispensabile un apparato radicale molto sviluppato", viene invece oggi contraddetta dall'affermazione più realistica che dice: "in genere il motivo di una scarsa resa produttiva è da porre in relazione ad un apparato radicale assai ridotto e/o stressato". Un aumento della lunghezza radicale comporta un incremento della resa della coltura secondo un modello lineare, ma la correlazione appare però modesta. Questo trova la sua motivazione nel fatto che lo sviluppo radicale e la produzione sono due eventi lontani nel tempo: di fatto la resa si costruisce, tramite le sue principali componenti, durante alcune ben specifiche fasi fenologiche, mentre l'accrescimento radicale segue ritmi di formazione differenti. Lungo il ciclo vegetativo possono verificarsi attacchi parassitari o fenomeni di stress abiotico che, in funzione della loro intensità, tendono a scollegare i due parametri. Quindi una buona dimensione dell'apparato radicale rappresenta una ottima, ma non sufficiente premessa per raggiungere delle elevate rese di prodotto. Quanto detto è la testimonianza dei notevoli progressi compiuti in chiave radicale e di sostenibilità dei vari fenomeni biologici che incidono nel miglioramento quali-quantitativo delle produzioni vegetali.

Malgrado le più recenti innovazioni tecnologiche abbiano fornito dei validi strumenti di indagine, restano ancora da chiarire altri aspetti quali la variabilità spaziale delle radici, il loro orientamento nella rizosfera, la risposta all'applicazione di nuovi prodotti della *crop protection*, la presenza di un cosiddetto "centro decisionale-organizzativo" da cui dipende il futuro accrescimento del pelo radicale, le reazioni all'assenza di forza gravitazionale e gli effetti della gravità. Sono infatti note le basi cellulari e i meccanismi del gravitropismo, fenomeno per cui le radici impiegano questa forza come segnale direzionale per esplorare la rizosfera, e realizzare l'ancoraggio oltre che intercettare risorse.

Le sfide della moderna agricoltura e dell'attuale situazione ambientale hanno aperto ambiti non del tutto risolti, in cui la ricerca radicale, forte delle conoscenze sopra trattate, riveste un ruolo essenziale. Il crescente *trend* della popolazione globale, la degradazione del suolo e della sua fertilità, la scarsità idrica e l'aumento dei costi dei fertilizzanti stanno premendo per una seconda rivoluzione verde che abbia come obiettivo quello di potersi avvalere di piante in grado di produrre a bassi livelli di input. In quest'ottica, la radice ha un ruolo cruciale: comprendere la morfologia e le funzioni radicali a partire dal livello cellulare fino all'intero sistema è indispensabile sia per la produzione vegetale che per la difesa dell'ambiente.

Una nuova frontiera dello studio radicale sta prendendo piede con la diffusione dell'agricoltura di precisione. Questa si basa sull'applicazione di tecniche e principi che hanno come obiettivo finale l'incremento della *performance* della coltura e la qualità ambientale, attraverso la gestione della variabilità spaziale e temporale, realizzata tramite l'uso di sensori, attuatori, mappe digitali e satelliti. Precisione significa esattezza e accuratezza in ogni aspetto della produzione: gli approfondimenti di ricerca in materia di apparati radicali vanno posti quindi in relazione al *management* in tutte le fasi del processo produttivo.

La ricerca sugli apparati radicali si inserisce anche nell'ambito del contenimento della malnutrizione tramite la biofortificazione, basata sull'arricchimento in micronutrienti delle materie prime destinate all'alimentazione umana, anche tramite le pratiche agronomiche di concimazione fogliare o al suolo. In questo caso però, il sistema pianta deve essere in grado di non superare il confine tra nutrizione e fitotossicità. La tutela ambientale riserva una nicchia alla ricerca radicale a completamento degli studi che hanno come obiettivo la conservazione del suolo.

La presenza nel terreno di inquinanti chimici, in particolare metalli pesanti derivanti dal settore agricolo e industriale si è fatta via via più pesante, tanto da richiederne in alcuni casi il risanamento. Questo può essere fatto tramite la fitorimediazione, una tecnica che sfrutta la capacità delle piante superiori di immobilizzare, degradare o estrarre i contaminanti del suolo e delle acque. Fitoestrazione e fitostabilizzazione sono i due meccanismi impiegati per la bonifica "verde": il primo si basa sull'asportazione di biomassa vegetale in cui si sono accumulati gli inquinanti e sui successivi smaltimento ed eventuale recupero; nel secondo caso invece, la pianta svolge un'azione di immobilizzazione-insolubilizzazione dei contaminanti nella rizosfera o nella radice stessa. Per entrambi i sistemi è necessario avvalersi di una pianta in grado di sviluppare un'estesa biomassa ipogea con un lento e modesto rinnovo delle strutture radicali, e di produrre essudati efficaci nel contenimento degli inquinanti.

Recenti tecniche prevedono l'uso di erbacee perenni in pendii, scarpate e ai margini delle infrastrutture ("prati armati") con l'obiettivo di arginare l'erosione del suolo e la perdita di materiale, avendo nel contempo bassa manutenzione ed elevata ecosostenibilità. A questo scopo è necessario utilizzare piante con apparati radicali profondi e resistenti: è il caso ad esempio della vetiveria (*Vetiveria zizanioides*), le cui radici, profonde fino a 5 metri circa, sono in grado di imbrigliare il terreno e di fornire una resistenza meccanica alla trazione pari a 1/6 di quella propria dell'acciaio.

Le alluvioni e le esondazioni provocate negli ultimi decenni dai cambiamenti socio-economici e territoriali anche nella nostra Penisola hanno portato all'attenzione dell'opinione pubblica la fragilità di interi sistemi produttivi. In questo caso la ricerca radicale si inserisce in una rete di studi agronomici, economici ed idraulico-ambientali il cui *focus* è la garanzia di una produzione che sia traducibile in un reddito minimo anche in caso di esondazione. L'apparato radicale deve essere quindi in grado di sopportare le alterazioni dovute al dilavamento o alla concentrazione di particolari elementi nel profilo del suolo, contribuendo così a conferire al sistema pianta una sorta di "tolleranza alla sommersione".

I programmi internazionali di esplorazione spaziale prevedono missioni di durata sempre maggiore, tuttavia la permanenza prolungata dell'uomo nello spazio comporta ancora problematiche di tipo tecnologico, di approvvigionamento delle risorse e di salute per gli astronauti. In missioni di lunga durata non è possibile fornire interamente da terra le risorse necessarie (es. cibo, acqua, ossigeno), pertanto le missioni interplanetarie e le lunghe permanenze su piattaforme spaziali dipenderanno dallo sviluppo di sistemi in grado di rigenerare in continuo le risorse primarie. L'intensa ricerca svolta nell'ambito della biologia vegetale spaziale (DA – UniNA) dimostra che le piante superiori sono in grado di adattarsi alle condizioni di vita nello spazio, tuttavia le informazioni sugli effetti a lungo termine di queste sui processi fondamentali sono meritevoli di ulteriori ricerche necessarie nell'ottica dell'inserimento nei sistemi biorigenerativi. Le piante superiori rappresentano un ottimo strumento per rigenerare l'aria mediante l'assorbimento di CO₂ e l'emissione di O₂ nella fotosintesi, purificare l'acqua mediante la traspirazione e riciclare parte dei prodotti di scarto dell'equipaggio (deiezioni) attraverso la nutrizione dei vegetali, fornendo nel contempo cibo fresco per integrare la dieta dell'equipaggio.

Alla luce di quanto sopra espresso si auspica l'approfondimento di ricerca della "rizologia", intesa come area di ricerca integrata dalle competenze di genetisti e agronomi, forestali, biologi, ecologi, microbiologi e chimici del suolo, in grado di rispondere alle necessità di un ambiente e di un'agricoltura in continua evoluzione.

BIBLIOGRAFIA CONSULTATA

Sinclair T. R., Mosca G. e, Bona S., 1993. Simulation analysis of variation among seasons in winter wheat yields in Northern Italy. *J. Agronomy and Crop Sci.*, 170, 202-207.

Bona S., Vamerali T. e Mosca G. 1995. Risposta del sistema radicale del mais (*Zea Mays* L.) alla riduzione degli input. *Riv. Agronomia* 29, 339-347.

Mucciarelli M., Berteà C.M., Cozzo M., Scannerini S. e Gallino M. 1998. *Vetiveria zizanioides* as a tool for environmental engineering. *ISHS Acta Horticulturae* 457, 33.

Vamerali T., Ganis A., Bona S., Mosca G., 1999. An approach to minirhizotron root image analysis. *Plant and Soil* 217, 183-193.

Mosca G., e Vamerali T. 2000. Obiettivo radice. Metodi di studio e risultati ottenuti in ambiente mediterraneo. Ed. Cleup, Padova.

Oliveira M.R.G., van Noordwijk M., Gaze S.R., Brouwer G., Bona S., Mosca G. and Hiriah K., 2000. Auger sampling, ingrowth cores and pineboard methods. In *Root Methods. A Handbook*, Springer-Verlag, 175-210.

Vamerali T., Bona S., Saccomani M., Cagnin M. e, Mosca G., 2001. Effect of selection for low input on morpho-physiology of root system in maize. *Proc. XIX Nat. Conf. It. Soc. of Agric. Chem.*, 377-383.

Vamerali T., Saccomani M., Bona S., Mosca G., Guarise M. e, Ganis A., 2003. A comparison of root characteristics in relation to nutrient and water stress in two maize hybrids. *Plant and Soil* 255, 157-167.

Vamerali T., Ganis A., Bona S., Mosca G., 2003. Fibrous root turnover and growth in sugar beet as affected by nitrogen shortage. *Plant and Soil* 255, 169-177.

Vamerali T., Guarise M., Ganis A., Bona S. e, Mosca G., 2003. Analysis of root images from auger sampling with a fast procedure: a case of application to sugar beet. *Plant and Soil* 255, 387-397.

Lal R., 2004. Soil Carbon Sequestration Impact on Global Climate Change and Food Security. *Science* 304(5677):1623-7.

Mosca G., 2006. Root system and agro-ecosystem management. *I Georgofili – Quaderni VIII*, 7-16.

Vamerali T., Guarise M., Ganis A., Zanetti F. e, Mosca G., 2008. Studying root distribution with geostatistics. *Plant Biosystems*, 142, 2, 428-433.

De Micco V., Aronne G., Colla G., Fortezza R. e, De Pascale S., (2009). Agro-biology for bioregenerative Life Support Systems in long-term Space missions: General constraints and the Italian efforts., *J. Plant Interactions*, 4: 241-252.

Vamerali T., Bandiera M., Mosca G., 2012. Minirhizotrons in modern root studies. In *Measuring roots. An updated approach*. S. Mancuso (Ed.), Springer, 17: 341-361.

Mosca G., Vamerali T. e Bandiera M. 2013. Apparati radicali nell'interfaccia suolo-pianta coltivata: interazioni con acqua, azoto e inquinanti. In *Pisante M., Agricoltura sostenibile, Edagricole Bo.*, 181-205.