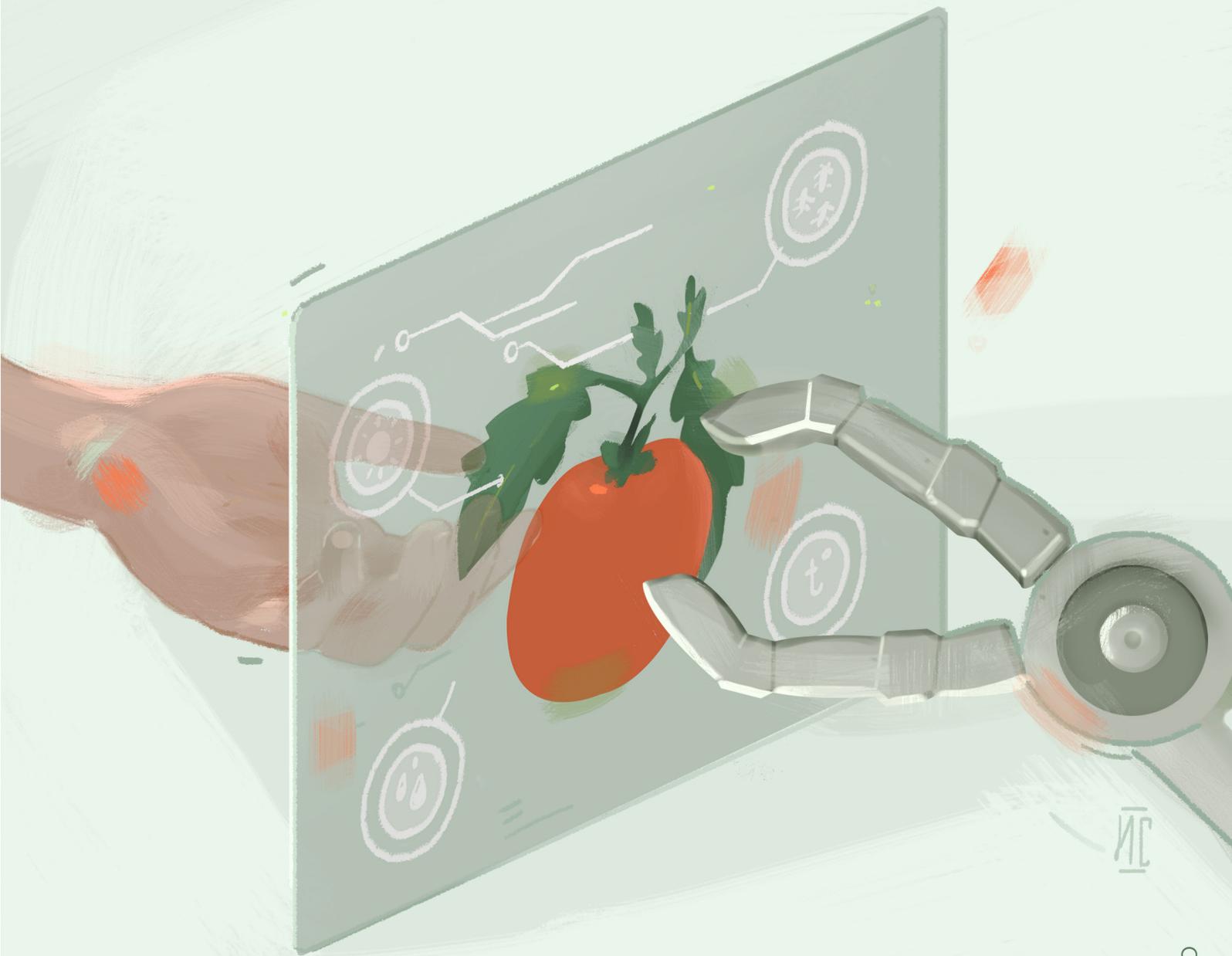


Food Hub



**Innovazioni in campo
per un futuro sostenibile**





Proposte e Collaborazioni

info@food-hub.it

Food Hub S.r.l. Società Benefit

P. IVA 04598540401

Via Martiri della Libertà, 14 C

47521 - Cesena (FC)



I fondatori

Francesco De Carolis

Dottore in Scienze e Tecnologie Alimentari, la sua voglia di sfide sempre nuove lo porta a intraprendere la carriera di consulente aziendale. Con l'intraprendenza e la versatilità che lo caratterizza, nel 2018 fonda Food Hub assieme a Fabio, ideando giorno dopo giorno nuovi scenari concreti per il futuro.



Fabio D'Elia

Una laurea triennale e una specialistica in Scienze e Tecnologie Alimentari non gli sono bastate: Fabio sta continuando il suo percorso di ricerca presso l'Università di Bologna. La voglia di creare e di mettersi in gioco sono il motore con cui ha deciso di fondare Food Hub assieme a Francesco, e che ancora oggi lo spinge a sperimentare nuove idee e opportunità.



I collaboratori



Rocco Pio Schiavone
Grafico Editoriale

Per Food Hub ho messo a disposizione tutte le mie competenze nell'impaginazione e nell'editing delle immagini. Grazie a questa proficua collaborazione ho l'opportunità di sfruttare a pieno la mia esperienza e le mie competenze, proseguendo il mio percorso di crescita professionale.



Alex Giordano
Web Editor

La mia sfida è riuscire a comunicare le innovazioni tecnologiche e la complessità del mondo agroalimentare. Come web editor di Food Hub ho la possibilità di essere sempre aggiornato su queste tematiche, instaurare rapporti e costruire il discorso scientifico secondo la mission aziendale.

Ivana Stoyanova
Copertina

Di origine bulgara ma con cuore italiano, laureata all'Accademia di Belle Arti di Bologna e all'Accademia di Belle Arti di Sofia. Ha iniziato la sua carriera d'artista tra pennelli e carta a 3 anni e non ha più smesso. In Food Hub si occupa di dar vita alle copertine dei nostri magazine.



Martina Cunico
Business Development

Crediamo fortemente nel capitale relazionale, oltre che in quello umano. Continuare a entrare in contatto con realtà di ogni dimensione, dalle startup alle multinazionali, è ciò che amo del mio ruolo in Food Hub. Per questa edizione ho contribuito allo scouting di startup innovative.



Annalisa Porelli
Supporto redazione

Studiamo e revisioniamo ogni articolo per garantire sempre contenuti di alto livello. Supportare la redazione mi permette di apprendere continuamente le novità del mondo dell'agroalimentare e allo stesso tempo, di continuare a coltivare la mia passione per la scrittura.



The choice, after all, is ours
to make

Rachel Carson

Biologa e zoologa statunitense
Autrice di "Primavera silenziosa" (1962)

L'editoriale

L'Italia, forte della sua biodiversità e della ingente produzione agro-alimentare, si vedrà costretta a fare i conti con il cambiamento climatico per sopperire a periodi siccitosi ed eventi atmosferici straordinari. Lo sviluppo e l'impiego di nuove tecnologie permette di ridurre i costi energetici e migliorare la qualità delle produzioni.

Food Hub dedica il 13° numero del suo magazine all'Agricoltura 4.0 e alle ultime soluzioni innovative da applicare in campo: utilizzo di specifici microrganismi per il risanamento di ambienti estremi, sistemi IT per il monitoraggio dei patogeni, illuminazione LED per le vertical farm e uso delle immagini satellitari per il monitoraggio idrico delle colture. Dieci articoli scritti da esperti che ci faranno scoprire l'agricoltura del futuro.

In questo magazine diamo spazio anche a **quattro diverse realtà imprenditoriali che hanno trasferito gli insight provenienti dalla ricerca al mercato**, realizzando servizi e prodotti che sfruttano l'IA, la ricchezza delle alghe marine e i vantaggi dell'agricoltura fuori suolo, per permettere di ottenere coltivazioni più resistenti, produttive ma sostenibili.

Tra queste pagine digitali ti invitiamo a scoprire **Elaisian** e il suo servizio di agricoltura di precisione; **Soonapse** e le sue strategie di applicazione dell'IoT in agricoltura; i biostimolanti da matrice algale di **South Agro** e i sistemi di supporto alle coltivazioni fuorisuolo di **Wallfarm SRL**.

Ciò che emerge da **"Innovazioni in campo per un futuro sostenibile"** è il ruolo che la tecnologia avrà nel futuro dell'agricoltura, perché nell'era del digitale la produzione agroalimentare non può rimanere indietro. Per questo motivo è essenziale rendere l'agricoltura sempre più smart grazie all'impiego di sistemi informatici integrati, che sono la forza motrice che coordina maggiore produttività e sostenibilità, magari in combinazione con strategie scientifiche innovative basate sull'uso di microrganismi, biostimolanti o innovazioni biotecnologiche.

Indice

Sfrutta l'interattività! Clicca su qualsiasi punto dell'indice per navigare all'interno della rivista.

14

Federico Maffezzoli, Andrea Bacchetti,
Maria Pavesi
L'evoluzione del mercato di Agricoltura 4.0
in Italia

28

Domenico Prisa
Utilizzo degli *Effective Microorganisms*, un
modo sostenibile di fare agricoltura

46

Giuseppe Modarelli
L'illuminazione artificiale LED in agricoltura
per l'ottimizzazione della crescita delle
piante

64

Simone Bergonzoli, Antonio Scarfone
Influenza delle caratteristiche del suolo sulla
produzione di miele da girasoli

82

South Agro (biostimolanti da alghe marine)
Il mare che nutre la terra

90

Nicola Nicastro, Catello Pane
Colture controllate grazie all'imaging
iperspettrale

104

Maria Elena Latino, Marta Menegoli
Strumenti IT per il monitoraggio dei
patogeni in agricoltura: il caso *Xylella*
fastidiosa nell'ulivo

Indice

Sfrutta l'interattività! Clicca su qualsiasi punto dell'indice per navigare all'interno della rivista.

120

Simone Fiorentino

Elaisian - Monitora e prenditi cura dei tuoi campi ovunque tu sia

128

Massimo Tolomio

I satelliti a supporto dell'agricoltura contro lo stress idrico

142

Jacopo Teodori

Wallfarm – Intelligent agriculture

154

Elisa Riva

Carbonsink - Approcci efficaci nella riduzione dell'impatto della produzione agricola

170

Marco Ciarletti

Soonapse - Predictive optimization of resources, in time.

180

Giacomo Ferretti

Nuove tecnologie di trattamento delle acque reflue per l'irrigazione dei terreni agricoli

198

Ilaria Re, Melissa Balzarotti,
Cecilia Ceccherini

Biochar: nuove tecniche per un'agricoltura sostenibile

PANORAMICA INTRODUTTIVA



GLI AUTORI



Federico Maffezzoli

Dottorando di ricerca presso Università degli Studi di Brescia & Analista presso Osservatorio di ricerca Smart Agrifood



Andrea Bacchetti

Ricercatore di ruolo e docente presso Università degli Studi di Brescia & Direttore Osservatorio di ricerca Smart Agrifood



Maria Pavesi

Ricercatrice senior presso Osservatorio Smart Agrifood

L'EVOLUZIONE DEL MERCATO DI AGRICOLTURA 4.0 IN ITALIA

L'innovazione digitale risulta essere sempre più la vera forza trainante del sistema economico e produttivo del Paese. Ormai sono sempre più anche gli attori del settore agroalimentare che ne riconoscono le opportunità e i benefici, utilizzando le soluzioni e le opportunità offerte dal digitale come leva strategica in grado di garantire resilienza e maggiore competitività all'interno dello scenario nazionale e internazionale.



Dimensionamento e composizione del mercato di Agricoltura 4.0



Il digitale e l'implementazione delle diverse soluzioni che lo compongono rappresentano per il settore agricolo – e non solo – una grande speranza per aumentarne l'efficienza e la produttività sotto molteplici aspetti. Insomma, **fare di più con meno** (acqua, input agricoli, suolo, capitale umano, etc.) **ma anche aumentare la qualità del lavoro degli operatori e degli imprenditori con il supporto decisionale su vari aspetti delle attività dell'azienda agricola.**

Nel nostro Paese, negli ultimi due anni

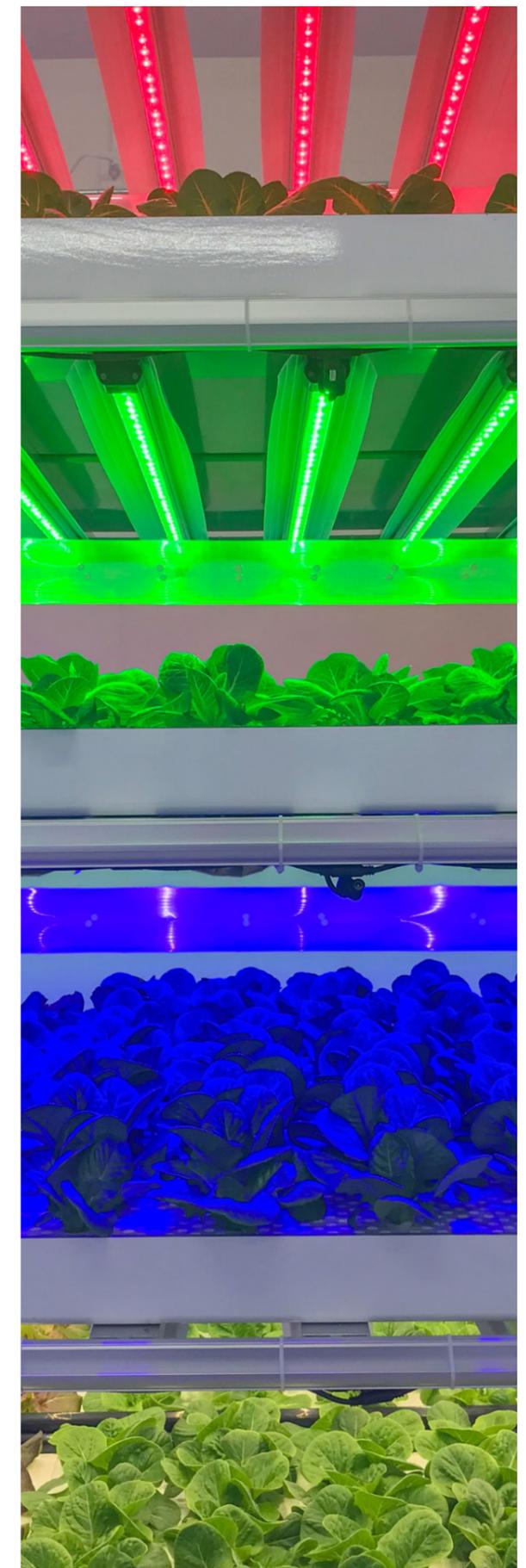
l'Agricoltura 4.0 ha continuato il suo percorso di crescita ed evoluzione nonostante la significativa crisi riconducibile alla pandemia Covid-19.

Nel 2020, sulla base delle proiezioni di fatturato del primo semestre, l'**Osservatorio Smart AgriFood** aveva stimato che il mercato dell'Agricoltura 4.0 avesse raggiunto i **540 milioni di euro**, con una crescita del 20% rispetto al 2019. Le analisi a consuntivo portano alla luce un trend ancora più positivo. Grazie alla ripresa degli investimenti

avvenuta nel secondo semestre 2020, il mercato è infatti arrivato a 1,3 miliardi di euro, poco più del doppio di quanto era stato preventivato. Nel 2021 la crescita non si ferma, riallineandosi però ai tassi di crescita degli anni precedenti. Secondo le stime, **l'Agricoltura 4.0 ha generato in Italia un fatturato intorno a 1,6 miliardi di euro, con una crescita del 23% rispetto al 2020.**

In parallelo alla crescita del mercato aumenta anche la superficie coltivata con strumenti di Agricoltura 4.0 da parte delle aziende agricole italiane, che nel 2021 è raddoppiata, toccando il 6% della superficie totale. Insomma, il mercato ha tanto spazio di crescita, le potenzialità delle soluzioni digitali stanno incominciando solo ora a essere comprese appieno. All'interno di questa crescita, l'Osservatorio ha identificato quali sono le componenti che la trainano.

Le macchine e le attrezzature agricole nativamente connesse sono le soluzioni di Agricoltura 4.0 che supportano la crescita del mercato (47% del mercato, addirittura con un +17% rispetto al 2020), seguite dai sistemi di monitoraggio e controllo applicabili a mezzi e attrezzature agricoli post-vendita (con il 35%), spinte anche dagli incentivi fiscali che hanno contribuito – e stanno contribuendo – al forte rinnovamento del parco macchine delle aziende agricole. È anche interessante notare che i sistemi di monitoraggio da remoto di terreni e coltivazione, insieme ai sistemi di mappatura tramite droni o immagini satellitari, nonostante siano tra le soluzioni più diffuse nell'offerta di soluzioni di Agricoltura 4.0, incidono relativamente poco (meno del 10%) sul valore di mercato complessivamente generato.



Le tecnologie e il grado di utilizzo delle soluzioni digitali



L'offerta tecnologica è oggi ampia, attenta a supportare i singoli nodi della filiera, ma anche ad agevolare la loro integrazione per generare efficienza e sostenibilità. **Tra le tecnologie implementate dalle soluzioni di Agricoltura 4.0 si conferma il predominio di quelle riconducibili alla gestione dei dati, con il 71% delle soluzioni legato alla loro analisi anche se solo in alcuni casi Big Data.** È quindi coerente il fatto che si riscontra la forte presenza di soluzioni di **Internet of Things** (58%), in grado di raccogliere e trasmettere dati, e l'implementazione di sistemi **"on Cloud"** (19%). Inoltre,

nonostante rimanga ancora marginale, è importante la presenza di soluzioni inerenti all'**Artificial Intelligence** e al **Machine Learning** per l'analisi avanzata dei dati, in cui vengono sviluppati gli automatismi necessari a sgravare gli operatori da diverse funzioni e poter prendere decisioni più tempestive in completa autonomia.

Coerentemente con la spinta dell'offerta tecnologica e con il paradigma stesso dell'Agricoltura 4.0 – che vede il dato al centro del business anche delle aziende agricole – cresce sempre di più l'attenzione verso soluzioni, e in particolare

piattaforme, in grado di abilitare l'integrazione di dati provenienti da diverse fonti. Questo è un tassello fondamentale per lo **sviluppo digitale del settore** (ma ad onore del vero della digitalizzazione di ogni settore economico), visto che per esprimere il vero potenziale le soluzioni digitali devono essere messe a fattor comune, rompendo le barriere tipiche dei silos verticali e integrando i dati provenienti da più soluzioni, e possibilmente anche da diversi provider tecnologici. Nello specifico, L'Osservatorio ha individuato e analizzato **33 piattaforme di integrazione dati** per il settore agricolo, 9 in più rispetto al 2020, dedicate perlopiù a massimizzare la visibilità per gli agricoltori sulle attività aziendali e consentire l'ottimizzazione degli input produttivi grazie a una base di dati e informazioni più robusta. Le analisi svolte dall'Osservatorio al fine di stimare la crescita del mercato e dell'offerta di soluzioni digitali trovano conferma nell'indagine svolta verso le

aziende agricole stesse. L'ampio campione di aziende (più di 850) preso in considerazione dimostra che non solo aumenta il numero di aziende che utilizza soluzioni digitali, ma parallelamente aumenta il tasso di utilizzo medio di soluzioni per azienda. Nello specifico, aumenta la quota di agricoltori che utilizza almeno una soluzione di Agricoltura 4.0: oltre il 60% nel 2021, +4% rispetto al 2020, mentre più del 40% utilizza almeno 2 soluzioni (Fig. 1). In media ogni azienda impiega quasi 3 soluzioni in parallelo, dato in crescita del 15% rispetto alla scorsa rilevazione. Coerentemente con quanto osservato nell'analisi del mercato e dell'offerta tecnologica, oltre ai software gestionali, scelti dal 40% delle aziende, i sistemi di monitoraggio e controllo di macchine e attrezzature agricole e di coltivazioni e terreni e i sistemi di mappatura, spinti in particolare dalle tecnologie satellitari, sono le soluzioni 4.0 più utilizzate, rispettivamente dal 37% e dal 28% del campione.

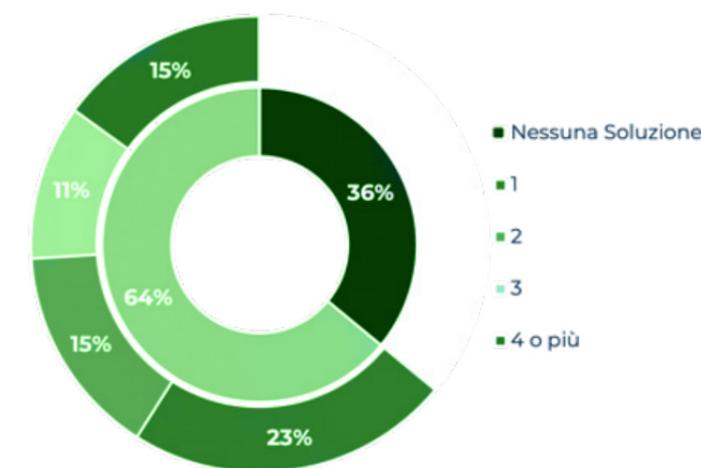


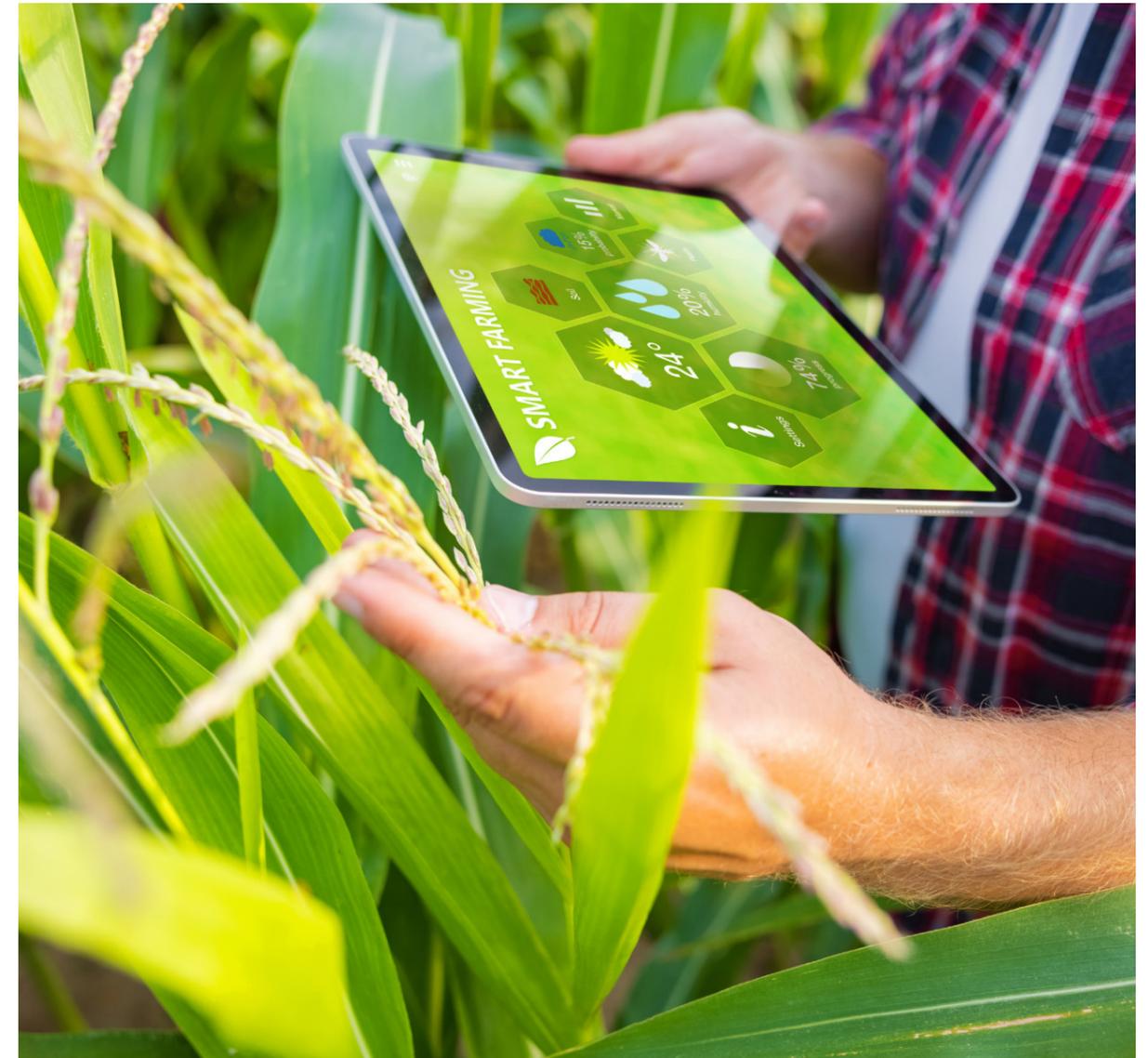
Fig. 1 - Lo stato di adozione di soluzioni di Agricoltura 4.0 da parte delle aziende agricole (Base 869 aziende agricole).



Per rendere più chiaro cosa vuol dire implementare soluzioni digitali in agricoltura, una bella testimonianza proviene da una importante realtà del Paese:

Genagricola.

Genagricola, con 8.000 ettari coltivati distribuiti in 23 aziende agricole localizzate, è una delle imprese agricole più grandi in Italia. L'azienda intraprende il suo percorso di innovazione nel 2016, adottando soluzioni digitali per la coltivazione di vite e cereali. Il primo passo è stato l'installazione di diversi sistemi di raccolta dati in campo, come centraline meteo, trappole entomologiche e captaspore, e un sistema di supporto alle decisioni che, grazie ai dati ricevuti in input, supportasse le imprese nel monitoraggio dello sviluppo e nella previsione di malattie. L'esperienza è stata molto positiva poiché ha consentito alle aziende di disporre di dati e informazioni più accurate e, di conseguenza, di prendere decisioni più consapevoli ed efficaci, svolgendo trattamenti mirati sulla base delle reali esigenze delle colture. Grazie a tali sistemi, infatti, le imprese sono state in grado di prevenire lo sviluppo di malattie, aumentare l'efficacia dei trattamenti e monitorare con maggior efficacia la finestra di copertura dei trattamenti svolti. Il beneficio è stato anche economico: il sistema ha consentito all'azienda di risparmiare sui costi di produzione, in particolare sui fitofarmaci utilizzati durante i trattamenti in campo. L'azienda non si è fermata a questo obiettivo e successivamente ha introdotto nuovi sistemi di raccolta dati in campo e sulle macchine; ai dati raccolti da tali sistemi sono stati poi accostati i dati rilevati dalle analisi del terreno, dalle mappe sullo stato vegetativo delle colture e dalle



mappe di resa. Grazie all'analisi di questa grande mole di dati, l'azienda ha potuto introdurre l'utilizzo di mappe di prescrizione per attività a rateo variabile, in particolare per concimazione e semina. I benefici riscontrati sono stati diversi e su più fronti: si è constatata una maggiore uniformità di produzione; allocando in modo più accurato gli input produttivi e mantenendo il quantitativo di fertilizzanti adottati sotto i limiti definiti internamente si è ottenuto un aumento della produzione. In generale si è riscontrata una riduzione degli errori in campo e un risparmio

sugli input produttivi (sementi, concimi, carburante, ecc.) Chiaramente, come precursori, ci sono state delle difficoltà nell'implementazione di sistemi digitali avanzati. La principale criticità percepita dall'azienda è stata la difficoltà di integrazione dati da fonti diverse e l'impossibilità di dialogo tra i diversi sistemi, elementi che hanno appesantito il lavoro di tecnici e agronomi generando onerosità nel processo di analisi dei dati. Criticità che chiama a gran voce sistemi di integrazione sia di dati provenienti da soluzioni diverse che da provider differenti.

Il ruolo degli incentivi per l'innovazione digitale

Il mercato, come abbiamo visto, è in crescita. Ma qual è il fattore principale della forte spinta che porta le aziende agricole ad investire fortemente in questa direzione?

Dall'analisi dell'Osservatorio risulta chiaro che la crescita del mercato è trainata dagli **incentivi fiscali** erogati per supportare gli investimenti in soluzioni 4.0. Tra i canali informativi impiegati dalle aziende agricole per entrare in contatto e approfondire il tema degli incentivi legati all'Agricoltura 4.0 vi sono le **Associazioni di agricoltori** e i **rivenditori di macchine** e attrezzature agricole, ritenuti fra i più rilevanti rispettivamente dal 54% e dal 43% delle aziende agricole.

Dai dati analizzati della survey dell'Osservatorio Smart Agrifood, tra gli incentivi più conosciuti ci sono i **PSR (Programmi di Sviluppo Rurale)** e il **Piano transizione 4.0**, con il 54% delle aziende del campione che conosce il primo incentivo e il 42% il secondo. Il 73% delle aziende dichiara di aver impiegato almeno un incentivo di Agricoltura 4.0 e addirittura il 49% ne ha utilizzati due.

L'utilizzo sembra essere legato alle dimensioni aziendali:

- il 41% delle piccole aziende (sotto i 50 ettari) dichiara di non aver utilizzato nessun incentivo;
- questa percentuale si abbassa al 13% per quelle oltre i 50 ettari.

Gli incentivi hanno avuto un impatto determinante sulle scelte di investimento per la maggior parte delle aziende intervistate, addirittura l'84% delle aziende agricole: in particolare, il 44% ha anticipato l'investimento, il 20% ha scelto di investire in più soluzioni e un altro 20% ha scelto di investire in una soluzione più costosa rispetto a quanto previsto.

Anche se non è in dubbio la forte influenza positiva data dagli incentivi per guidare la crescita degli investimenti in soluzioni digitali bisogna anche dire che non mancano le criticità che ne ostacolano la fruizione: *in primis* l'**eccesso di burocrazia** necessaria per l'ottenimento dei finanziamenti. In secondo luogo, gli incentivi non sembrerebbero considerare alcune **esigenze delle aziende agricole**, e non sarebbero quindi utili per acquistare tutte le soluzioni di cui hanno bisogno.

Quest'ultimo elemento conduce a una riflessione sul tema: gli incentivi ad oggi trasferiti dal settore industriale a quello agricolo hanno supportato la crescita del mercato dell'Agricoltura 4.0, spingendo ancora di più l'adozione di alcune tipologie di soluzioni; probabilmente manca, però, un'analisi più attenta e verticale delle specifiche esigenze delle aziende agricole al fine di progettare e portare sul mercato agevolazioni orientate esclusivamente alle peculiarità del settore primario.

La forte crescita negli ultimi anni è (solo) il trampolino di lancio per il futuro

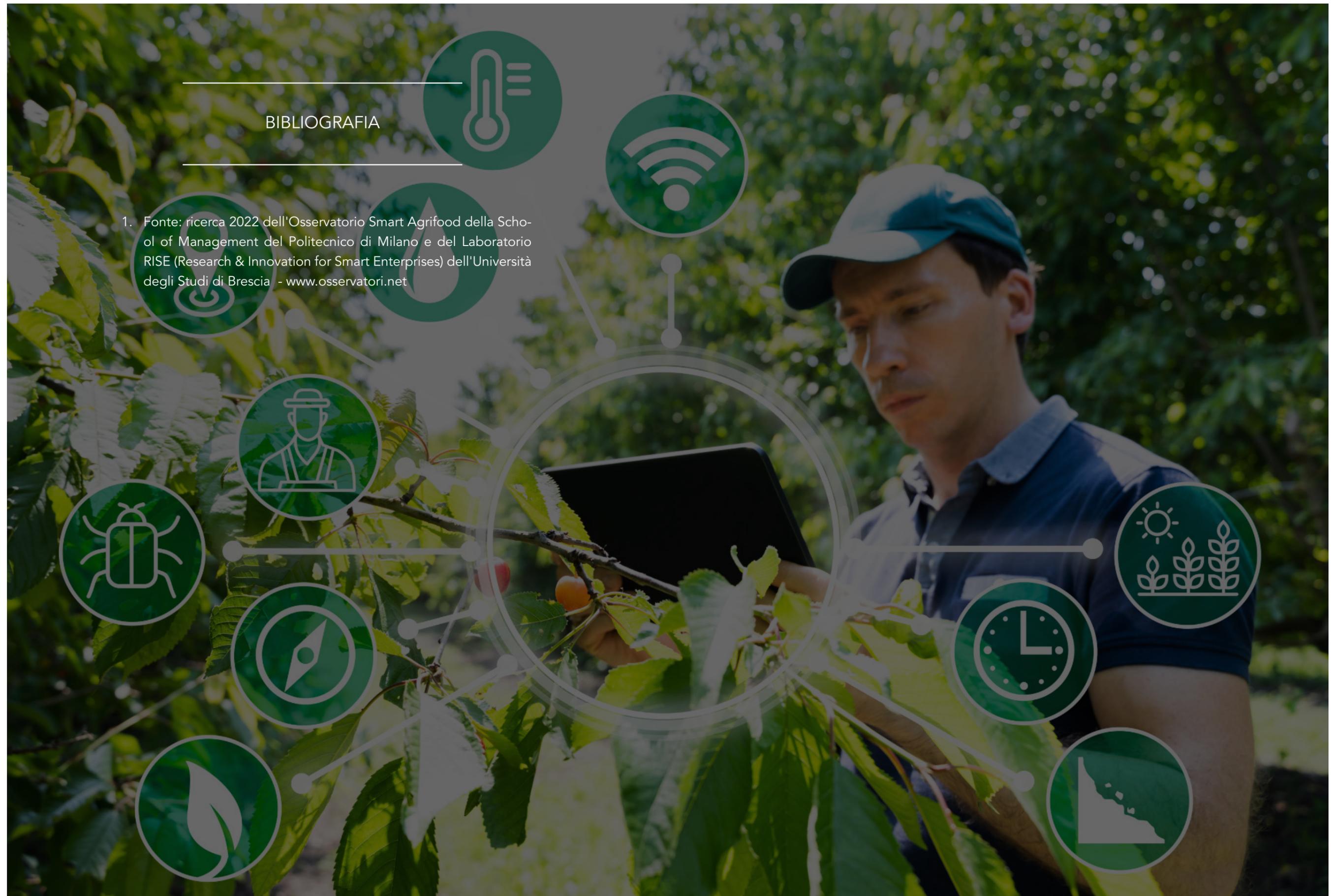


In breve, possiamo dire che il mercato digitale in agricoltura sia in forte e costante fermento. Lo certifica anche l'importantissima crescita in questo periodo del movimento complessivamente sotteso alla digitalizzazione della filiera agroalimentare.

Dai circa 100 milioni/anno di valore rilevati dal primo rapporto di ricerca dell'Osservatorio Smart Agrifood relativo al 2017, **il mercato delle soluzioni, prodotti e servizi per l'Agricoltura 4.0, a fine 2021 ha superato il miliardo e mezzo nel nostro Paese.**

In parallelo a questa importantissima crescita del mercato, aumenta anche la superficie coltivata con strumenti di Agricoltura 4.0 da parte delle aziende agricole italiane. Come scritto in prece-

denza, tra i fattori che hanno promosso la crescita delle superfici coltivate e l'intensità degli investimenti realizzati vi sono certamente gli incentivi fiscali legati al credito d'imposta (e non solo), che rappresenta una misura mutuata dall'industria ed estesa dal 2020 anche all'agricoltura, che in particolare ha contribuito al rinnovo e ammodernamento del parco macchine. Come richiamato in precedenza, **le stime ci portano a dire che soltanto il 6% della superficie totale è coltivata con tecniche 4.0, portandoci a pensare che la spinta all'investimento in pratiche digitali in questo settore sia ancora all'inizio e che nel prossimo futuro la filiera agroalimentare del Paese non possa che essere sempre più digitalizzata.**

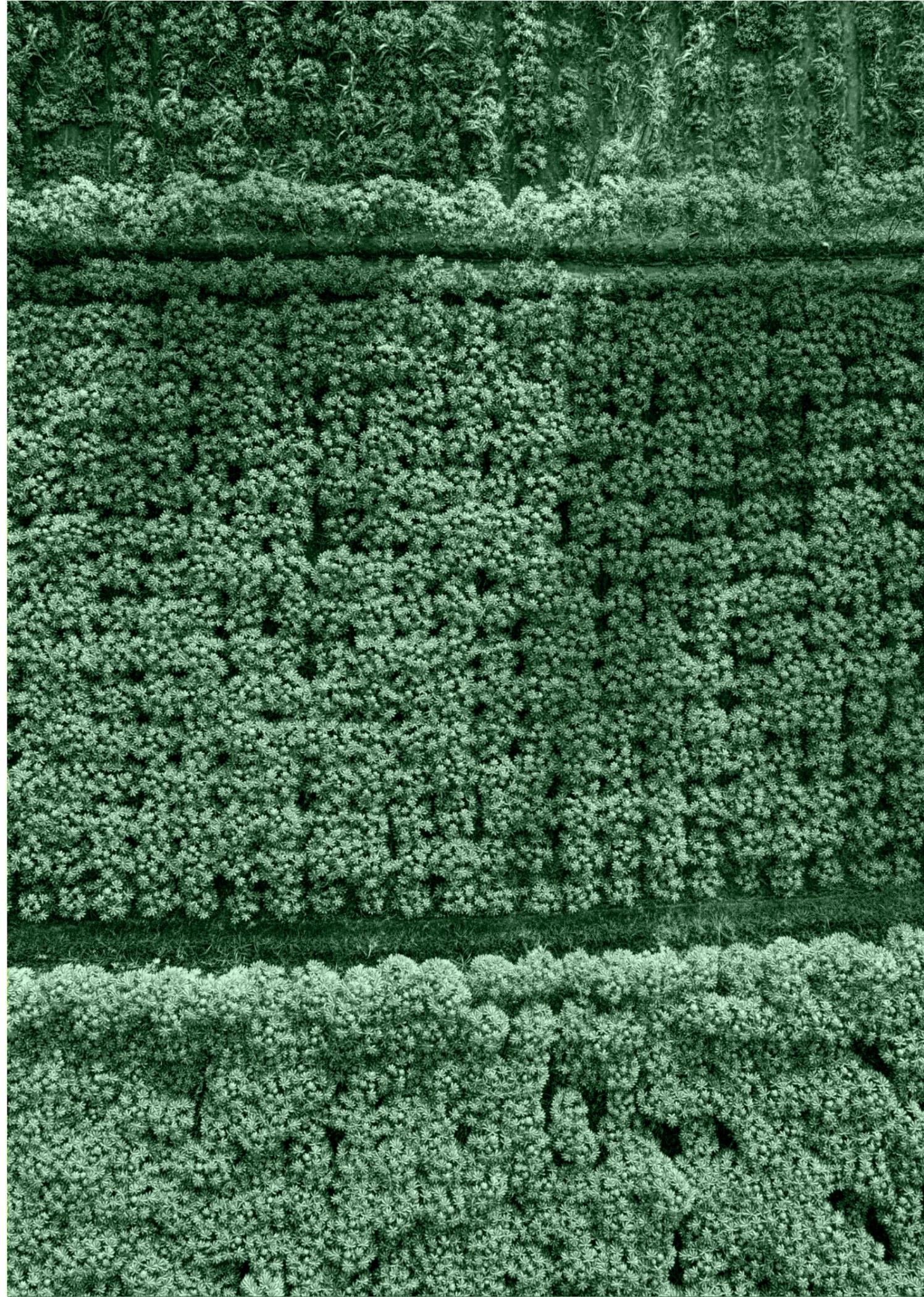


BIBLIOGRAFIA

1. Fonte: ricerca 2022 dell'Osservatorio Smart Agrifood della School of Management del Politecnico di Milano e del Laboratorio RISE (Research & Innovation for Smart Enterprises) dell'Università degli Studi di Brescia - www.osservatori.net

PARTE UNO

NUOVI APPROCCI CULTURALI E DI MONITORAGGIO IN CAMPO



L'AUTORE

**Domenico Prisa**

Ricercatore del CREA - Orticoltura e Florovivaismo di Pescia (PT), esperto nell'uso di microrganismi e biofertilizzanti, si occupa dello studio e della protezione di cactus e succulente come membro Internazionale dello IUCN SSC (Cactus and Succulent Plant Specialist Group) e della British cactus and succulent Society.

UTILIZZO DEGLI EFFECTIVE MICROORGANISMS, UN MODO SOSTENIBILE DI FARE AGRICOLTURA

L'utilizzo degli **Effective Microorganisms** (EM), può garantire un incremento della fertilità del suolo e un riequilibrio della fauna microbica, che risulta importantissima ai fini dell'assorbimento di nutrienti e di acqua da parte delle piante. Protocolli innovativi che prevedono l'utilizzo in sinergia di microrganismi EM e film protettivi, possono ridurre l'utilizzo di fitosanitari di sintesi in maniera sensibile, ottenendo ottima qualità del prodotto, riduzione dell'incidenza di malattie, velocità d'intervento e un impatto minore sulla salute dell'uomo e dell'ambiente.

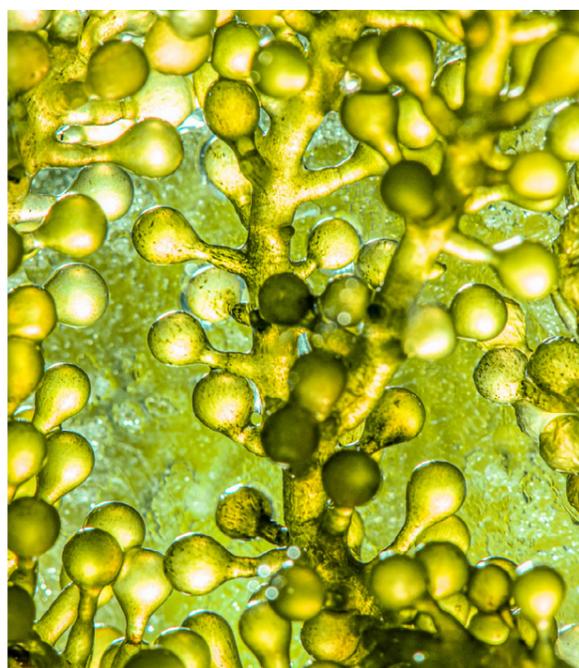
Conoscere i biofertilizzanti

La parola "biostimolante" o biofertilizzante sembra essere stata conosciuta per descrivere quelle sostanze che promuovono la crescita delle piante senza essere nutrienti, ammendanti o agrofarmaci. Un biostimolante vegetale, per du Jardin (2015) è «qualsiasi sostanza o microrganismo applicato alle piante allo scopo di migliorare l'efficienza nutrizionale, la tolleranza agli stress abiotici e/o gli aspetti della qualità del raccolto, indipendentemente dal suo contenuto di nutrienti» [1] [2]. Nel nuovo **Reg. (UE) 2019/1009** i biofertilizzanti vengono definiti come **prodotti fertilizzanti con la funzione di stimolare i processi nutrizionali delle piante indipendentemente dal tenore di nutrienti del prodotto**, con l'obiettivo di migliorare alcune caratteristiche delle piante e della rizosfera, come:

- efficienza d'uso dei nutrienti;
- tolleranza agli stress abiotici;
- miglioramento delle caratteristiche qualitative;
- migliore la disponibilità di nutrienti contenuti nel suolo o nella rizosfera [3].

I biofertilizzanti possono quindi migliorare le rese delle piante dal 10 al 40%, in particolare **sostanze contenenti microrganismi** quando applicate al suolo, a un seme o alle superfici delle piante, colonizzano la rizosfera, **promuovono la crescita delle piante e aumentano la fornitura e la disponibilità di sostanze nutritive, riducendo lo sviluppo di patologie** [4]. I fitosanitari chimici hanno un sensibile impatto a livello ambientale,

oltre a essere potenzialmente dannose per il benessere animale e umano con il passare del tempo [5]. Per questo motivo **aumentare l'arsenale di inoculanti microbici** come i rizobatteri promotori della crescita delle piante (PGPR) e i funghi promotori della crescita delle piante (PGPF), migliorare l'applicazione di inoculanti non comuni come **estremofili e microalghe**, sviluppare **biofertilizzanti personalizzati** per adattarsi alle condizioni dei campi coltivati e come strumento per il biorisanamento, sono obiettivi importanti che la ricerca sta perseguendo. Le nuove tecnologie molecolari come la metagenomica, la metatranscriptomica, la metaproteomica e la metabolomica rappresentano la chiave per sviluppare la prossima generazione di biofertilizzanti sicuri e funzionali [6].



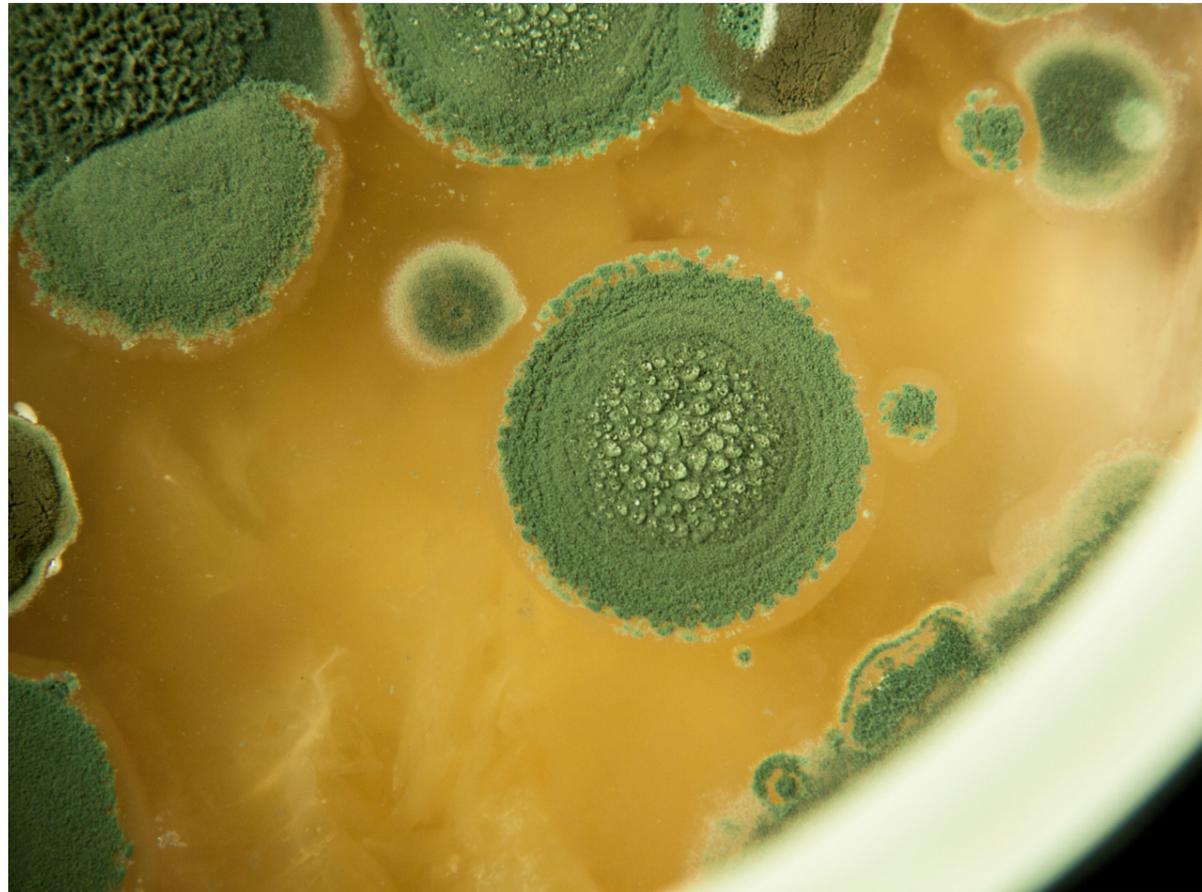
I microrganismi simbiotici e la loro relazione con le piante

Tramite la fotosintesi le piante producono svariate sostanze: zuccheri, amminoacidi, vitamine e nucleotidi, molecole generalmente utilizzate per l'accrescimento o come fonte di riserva. Gran parte delle sostanze però vengono rilasciate nella rizosfera sotto forma di essudati radicali. La radice attraverso dei trasportatori posti sulle cellule più superficiali assorbe sostanze come azoto, fosforo e zolfo, ma in terreni poveri di nutrienti, dove la competizione per le risorse è agguerrita, l'assorbimento radicale può non bastare e diventare costoso in termini energetici [7]. Entrano allora in gioco **le relazioni simbiotiche che si possono instaurare con i microrganismi del suolo, in grado di migliorare l'assorbimento di acqua e nutrienti da parte delle piante grazie alla capacità di esplorare maggiori superfici di suolo**. Il rapporto reciproco con un microrganismo simbiotico è una strategia per migliorare le rese produttive delle coltivazioni, limitando il possibile utilizzo di fertilizzanti nel rispetto della biodiversità del suolo [8]. Alcuni dati su pomodoro confermano che una pianta "micorrizata" cresce più in fretta e produce più frutti, altri dati su diverse piante frutticole e ornamentali dimostrano un incremento del tenore in minerali, composti aromatici e antiossidanti [9,10,11,12]. La presenza di un microbiota utile svolge inoltre una protezione di difesa, tramite **composti difensivi che vengono liberati come ad esempio il 2,4-diacetilfloro-**

glucinolo prodotto da alcuni ceppi di *Pseudomonas sp.* Le difese della pianta vengono generalmente attivate da alcune molecole che i funghi micorrizici e i batteri benefici hanno in comune con potenziali nemici, come chitina e peptidoglicani, che mettono in moto il sistema immunitario radicale, fino a quando determinati meccanismi e molecole segnale non permettono di riconoscere l'intruso come benefico [13]. Questa sorta di allarme permette poi alla pianta di reagire meglio ai successivi attacchi sia a livello radicale, ma anche sistemico, contro funghi patogeni o insetti parassiti delle foglie. **Le molecole maggiormente coinvolte sono l'acido salicilico, l'acido jasmonico e l'etilene**. La percezione della pianta da parte del microrganismo avviene tramite dei composti contenuti negli essudati radicali, tra cui i monomeri di cutina [14].

I microrganismi sono presenti in ogni parte del globo e permettono la trasformazione e il risanamento di gran parte dei materiali di scarto

Gli *Effective Microorganisms* (EM), cosa sono e come applicarli



I microrganismi costituiscono il 15% del nostro peso corporeo e con le loro 1000 specie diverse, colonizzano il nostro intestino riuscendo a farci digerire e assimilare le componenti nutritive. Alcune di queste contribuiscono in maniera importante alla nostra salute, altre ancora a rendere l'aria respirabile, altre costituiscono una risorsa importante per la medicina, il controllo del clima, l'agricoltura e la produzione di energia. Nel 1982 il dr. Teruo Higa, professore di agronomia a Okinawa, in seguito a diverse speri-

mentazioni riguardanti batteri e funghi utilizzabili in agricoltura, conìò il termine *Effective Microorganisms* (EM). **I microrganismi EM comprendono una miscela di colture vive di microrganismi, aerobi e anaerobi isolati in natura da suoli fertili, che sono utilizzati durante la coltivazione delle piante e possono avere numerosi benefici sugli essere umani, gli animali e l'ambiente** [15,16,17]. I microrganismi EM comprendono batteri lattici, batteri fotosintetici, lieviti e altre tipologie batteriche presenti nei suoli. I batteri

dell'acido lattico sono rappresentati da *Lactobacillus casei*, *Lactobacillus plantarum* e *Streptococcus lactis*. I batteri fotosintetici da *Rhodospseudomonas palustris* e *Rhodobacter spaeroides*. Inoltre sono presenti *Saccharomyces cerevisiae*, *Candida utilis*, *Streptomyces albus* e *Streptomyces griseus*, *Pseudomonas sp.*, *Aspergillus oryzae*, *Penicillium sp.*, *Mucor hiemalis* per un totale di **85 ceppi diversi** che svolgono in collaborazione diverse funzioni [18]. **I prodotti a base di *Effective Microorganisms*, visto la molteplicità microbica, possono contenere vari acidi organici, antiossidanti, enzimi e chelati.** Gli EM vennero inizialmente selezionati come alternativa ai prodotti chimici nel campo dell'agricoltura, ma ricerche estensive ed esperimenti in campo ne permisero l'applicazione con successo in altri settori, inclusi **la bonifica ambientale, il compostaggio dei rifiuti organici, la riduzione dell'odore nell'allevamento del bestiame e il trattamento delle acque inquinate** [19]. La tecnologia

EM viene applicata oggi, con successo in più di 200 paesi del mondo, i risultati più importanti si sono riscontrati soprattutto per quanto riguarda la depurazione delle acque e la bonifica di siti contaminati da metalli pesanti. **Numerosi sono inoltre i risultati nel trattamento di compost da riutilizzare in agricoltura, nell'allevamento e difesa delle api** [18], **nella produzione di bioenergie (metano e bioetanolo), nel compostaggio, nella riduzione degli odori e dei fanghi presenti in discarica.** In agricoltura, la principale funzione svolta dai microrganismi EM è quella di incrementare la microfauna del suolo, determinando un aumento delle produzioni in campo e fuori suolo (Tab. 1). **I batteri fotosintetici**, presenti nei microrganismi EM, sono in grado, infatti, in sinergia con altri microrganismi, di migliorare l'assorbimento dei nutrienti dal suolo e di ridurre l'incidenza delle malattie [19]. Interagiscono con l'ecosistema suolo-pianta controllando i patogeni delle piante e gli agenti di malattia,

Tesi	Altezza pianta (cm)	Circonferenza pianta (cm)	Peso vegetativo (g)	Peso radicale (g)	Numero fiori (n°)	Produzione frutti (g)	Numero spine (n°)	Lunghezza spine (cm)
CTRL100	32,56 c	7,68 b	46,30 b	30,26 b	16,70 c	90,50 b	33,20 b	2,26 a
CTRL50	26,94 d	6,70 c	38,76 c	27,70 c	13,40 d	88,02 c	27,60 c	1,44 c
EM100	38,58 a	9,30 a	50,52 a	33,84 a	21,41 a	96,60 a	37,00 a	2,44 a
EM50	36,34 b	7,82 b	44,78 b	28,06 c	18,80 b	90,08 b	32,80 b	1,91 b
ANOVA	***	***	***	***	***	***	***	***

Tab. 1- Effetto del trattamento con *Effective microorganisms* sulla crescita vegetativa, radicale e la produzione di frutti di *Myrtillocactus geometrizans* (cactus utilizzato in Sudamerica per la produzione di frutti simili a mirtilli). Legenda: (CTRL100): controllo con 100% di acqua e fertilizzazione; (CTRL50): controllo con 50% di acqua e fertilizzazione; (EM100): Microrganismi efficaci con il 100% di acqua e fertilizzazione; (EM50): Microrganismi efficaci con il 50% di acqua e fertilizzazione.



Fig. 1 - Effetto del trattamento con EM sullo sviluppo fogliare e sulla produzione di fiori di *Lantana camara*.



Fig. 2 – Biostimolazione degli EM sullo sviluppo fogliare di *Tradescantia fluminensis*.



Fig. 3 – Incremento delle dimensioni dei bulbi di cipolla in seguito alla coltivazione con EM.

solubilizzando i minerali, aumentando la disponibilità energetica delle piante, stimolando il sistema fotosintetico, mantenendo l'equilibrio microbiologico del suolo, fissando l'azoto biologico [18]. **I microrganismi EM sono in grado di stimolare la crescita delle piante (Tab. 2) e di solubilizzare gli elementi minerali presenti nel suolo, in particolare calcio (Ca), fosforo (P) e magnesio (Mg).** Il Ca influenza molti processi benefici per la pianta: un alto contenuto in Ca determina meno malattie, riduzione dell'attacco da parte di insetti, una migliore conservazione del prodotto [20]. **Ricerche riguardanti l'applicazione dei microrganismi EM su diverse piante in coltivazione hanno dimostrato come questi microrganismi a livello agronomico possano influenzare in maniera significativa la germinazione dei semi, la vigoria delle piante, la fotosintesi fogliare, la precocità di fruttificazione, l'altezza delle piante, il numero di frutti** (Fig. 1; Fig. 2; Fig. 3)[21]. Possono inoltre incrementare a livello di con-

tenuto chimico dei frutti, la vitamina C, gli zuccheri, le proteine, gli aminoacidi, l'azoto fogliare e aumentare la resistenza a diversi stress biotici (*Phytophthora*, Marciume apicale dei fiori, *Diaphania nitidalis*, Oidio, Botrite, Nematodi) [22] e abiotici (idrici e salini) [23].

L'utilizzo dei microrganismi EM può quindi garantire un incremento della fertilità del suolo e un riequilibrio della fauna microbica, che risulta importantissima ai fini dell'assorbimento di nutrienti e di acqua da parte delle piante (Fig. 4; Fig. 5; Fig. 6). Protocolli innovativi che prevedono l'utilizzo in sinergia di microrganismi EM e film protettivi come il caolino e la chabasite micronizzata, possono ridurre l'utilizzo di prodotti chimici in maniera sensibile (ad esempio su vite e olivo), ottenendo allo stesso tempo ottima qualità del prodotto, riduzione dell'incidenza di malattie, velocità d'intervento e sicuramente meno impatto sulla salute dell'uomo e dell'ambiente [24].

Tesi	Altezza pianta (cm)	Numero Foglie (n°)	Peso vegetativo (g)	Peso radicale (g)	Numero Nuovi germogli (n°)	Peso Nuovi germogli (g)	Area Fogliare (cm ² pt ⁻¹)
CTRL	15,80 b	11,58 c	61,48 c	38,47 b	70,08 c	0,57 c	194,56 b
ML	15,98 b	13,42 b	76,50 b	41,24 b	87,42 b	0,76 b	197,11 b
EM	17,62 a	17,42 a	96,34 a	54,78 a	110,58 a	1,17 a	250,33 a
ANOVA	***	***	***	***	***	***	***

Tab. 2 - Effetto del trattamento con *Effective microorganisms* sulla crescita di *Kalanchoe daigremontiana*, pianta medicinale succulenta con effetti protettivi nei confronti del cancro. Legenda: (CTRL): controllo con acqua e fertilizzazione; (ML): controllo con acqua, fertilizzazione e melassa; (EM): Microrganismi efficaci con acqua e fertilizzazione.



Fig. 4 - Incremento dello sviluppo di foglie di basilico in seguito al trattamento con microrganismi EM.



Fig. 5 - Sviluppo radicale di basilico determinato da trattamenti liquidi con microrganismi EM.

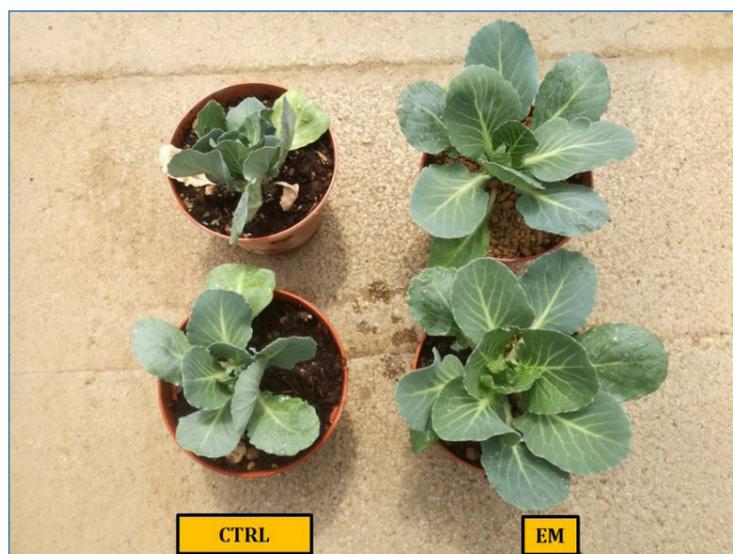


Fig. 6 - Aumento dello sviluppo delle foglie di cavolo cappuccio con trattamenti a base di microrganismi EM.

Nuove prospettive sull'uso di biofertilizzanti microbici

Negli ultimi anni, i biofertilizzanti sono emersi come una componente importante per la fissazione biologica dell'azoto. I biofertilizzanti quindi offrono un percorso economicamente attraente ed ecologicamente sano per fornire nutrienti alla pianta.

Comprendono uno strumento promettente negli ecosistemi agricoli come fonte supplementare, rinnovabile ed ecologica di nutrienti per le piante, poi-

ché hanno la capacità di trasformare elementi nutrizionalmente importanti da non utilizzabili a forme altamente assimilabili senza effetti deleteri sull'ambiente naturale. **L'applicazione di fertilizzanti biologici è ritenuta essere un elemento chiave per mantenere la fertilità del suolo e la produttività delle colture ad un livello sufficientemente alto, indispensabile per raggiungere la sostenibilità dell'agricoltura.** Possono anche contri-



buire a mitigare le difficoltà derivanti dalla crescente domanda di cibo della popolazione mondiale e dalla diffusa chimica negli agroecosistemi. Il cambiamento di approccio alle pratiche agricole, rende i biofertilizzanti una parte vitale della produzione di colture moderne e sottolinea l'importanza degli inoculanti microbici nei prossimi anni. Le specie vegetali sono in continua associazione e interazione con diversi gruppi di microrganismi. L'entità di tali associazioni è molto diversa nelle vicinanze, nelle aree di superficie e all'interno dei tessuti vegetali vivi [25]. Dal punto di vista agricolo, piante e microbi interagiscono in molti modi con conseguente manifestazione di cambiamenti mutualistici o ostili. **Se l'interazione è mutualistica, questa sarà benefica o vantaggiosa per entrambi gli organismi come un terreno fertile composto da un gran numero di batteri e funghi benefici** (per esempio rizobi e micorrize). Tali interazioni si traducono in effetti benefici come la fissazione dell'azoto e l'assorbimento dei nutrienti. D'altra parte, le piante sono costantemente minacciate da una vasta gamma di agenti patogeni (ad esempio batteri, funghi e insetti), che portano allo sviluppo di meccanismi di difesa [26]. Diversi microbi sono noti per influenzare la crescita delle piante senza entrare nei tessuti vegetali (per esempio *Azotobacter* e *Cyanobacteria*), e alcuni microbi sono utili come endofiti, entrando negli spazi intercellulari. In questo caso si parla di *Azospirillum* e ectomicorrize e dell'associazione intracellulare tra *Rhizobium* ed endomicorrize. **La stabilità di tali relazioni positive pianta-microbi si traduce nello sviluppo di agroecosistemi eco-sostenibili** [27][28].



Conoscere i biofertilizzanti

La produzione di colture ecologicamente sane e sostenibili è la sfida principale per il ventunesimo secolo e una maggiore produzione non solo fornisce cibo adeguato per la crescente popolazione, ma offre anche materie prime per varie industrie. Attualmente gli agricoltori sono abbastanza dipendenti dall'uso di pesticidi, a causa della loro mancanza di consapevolezza sulle implicazioni della loro applicazione legata in particolar modo al degrado ambientale e ai rischi per la salute del bestiame e dell'uomo. Inoltre, emergenti patogeni vegetali resistenti ed endemici, minacciano la pro-

duzione di colture alimentari facendo sì che lo sviluppo di soluzioni sostenibili in grado di salvaguardare la salute delle piante, per una migliore qualità e un'alta produttività, sia essenziale per ottenere **strategie ecologicamente compatibili per mitigare le perdite dovute a parassiti o agenti patogeni, migliorando la qualità dei prodotti agricoli.**

Attualmente numerose sono le ricerche che prevedono lo sviluppo di biofertilizzanti microbici in grado di migliorare la quantità e la qualità delle produzioni, garantendo sostenibilità e rispetto per l'ambiente e la biodiversità.



 BIBLIOGRAFIA

1. Canellas, L.P., Olivares, F.L., Aguiar, N.O., Jones, D.L., Nebbioso, A., Mazzei, P. & et. al. (2015). Humic and fulvic acid as biostimulants in horticulture. *Sci. Hortic.*, 196, 15-27
2. Du Jardin, P. (2015). Plant biostimulants: Definition, concept, main categories and regulation. *Scientia Horticulturae*, 196, 3-14
3. Kenicer, G., Bridgewater, S. & Milliken, W. (2000). The ebb and flow of scottish seaweed use. *Botanical Journal of Scotland*, 52(2), 119-148
4. Yakhin, O.I., Lubyantsev, A.A., Yakhin, I.A. & Brown, P.H. (2017). Biostimulants in Plant Science: A Global Perspective. *Front. Plant. Sci.*, 7, 2049
5. Soudani, N., Toumi, K & Boukhalfa, H.H. (2022). Estimation of phytosanitary pressure and the environmental impact related to the use of pesticides. *Egyptian Journal of Agricultural Research*, 100 (2), 184-192
6. Wells, M.L., Potin, P., Craigie, J.S., Raven, J.A., Merchant, S.S. et al. (2017). Algae as nutritional and functional food sources: revisiting our understanding. *Journal of applied phycology*, 29(2), 949-982
7. Prisa, D. (2018). Italian chabazitic-zeolite and Effective microorganisms for the qualitative improvement of olive trees. *Soc. Tosc. Sci. Nat., Mem., Supplemento*, 125, 13-17
8. Prisa, D. (2022). Effective Microorganisms Improve Growth and Minerals Content in the Medicinal Plant *Bulbine frutescens*. *Indian Journal of Natural Sciences*, 12(70): 37763-37770
9. Prisa, D. (2019). Improvement quality of aubergine plants with effective microorganisms. *Asian Academic Research Journal of Multidisciplinary*, 6(3), 1-8
10. Prisa, D. (2019). Improvement Quality and Content of Pepper and Chilli Nitrates Influenced by the Effective Microorganisms. *American Scientific Research Journal for Engineering, Technology, and Sciences (ASRJETS)*, 53(1), 176-18
11. Prisa, D. (2022). Soil microbiota and its plant interactions. *(IJCRR) International Journal of Current Research and Review - 14(8)*, 40-46
12. Prisa, D. (2019). Germination Of Vegetable And Grassland species With Micronized chabazitic-Zeolites And Endophytic Fungi. *IOSR Journal of Agriculture and Veterinary Science (IOSR-JA-VS)*, 12(5)I, 32-37
13. Vessey, J.K. (2003). Plant growth promoting Rhizobacteria as bio-fertilizers. *Journal of Plant and Soil*. 225(43), 571-86
14. Khosro, M. & Yousef, S. (2012). Bacterial bio-fertilizers for sustainable crop production: A review *APRN Journal of Agricultural and Biological Science*. 7(5), 237-308
15. Prisa, D. (2019). Effective microorganisms for the cultivation and qualitative improvement of onion (*Allium cepa* L.). *World Journal of Advanced Research and Reviews*, 02(03), 1-7
16. Prisa, D. (2016). Pcb, Ipa, Furani, Diossine e metalli pesanti nel suolo e nelle acque: Risanamento biologico con i Microrganismi EM. *Ecquologia*

BIBLIOGRAFIA

17. Prisa, D. (2016). Ritorno alle origini. Microrganismi EM, protocolli ed esperienze per un'apicoltura sostenibile. *Apinsieme*, 28-34
18. Prisa, D. (2019). Effective microorganisms for germination and root growth in *Kalanchoe daigremontiana*. *World Journal of Advanced Research and Reviews*, 03(03), 047–053
19. Prisa, D. (2018). Effective microorganisms una risorsa per l'agricoltura e l'ambiente. Edizioni lulu, pg.54
20. Condor, A.F., Gonzalez, P. & Lakre, C. (2007). Effective microorganisms: myth or reality? *The Peruvian Journal Biology* 14, 315-319
21. Ncube, L., Minkeni, P.N.S. & Brutsch, O. (2011). Agronomic suitability of Effective micro-organisms for tomato production. *African Journal of Agricultural research*, 6, 650-654
22. Xu, H.L., Wang, R. & Miridha, M. (2001). Effects of Organic Fertilizers and a Microbial Inoculant on Leaf Photosynthesis and fruit Yield and Quality of Tomato plants. *Journal of Crop production* 3, 173-182
23. Lee, K.H. & Sung, J.M. (2001). Improvement of tomato cultivation by Effective Microorganisms. Sixth International Conference on Kyusei Nature Farming. Proceedings of the conference on greater productivity and a cleaner environment through Kyusei Nature Farming, University of Pretoria, Pretoria, 75-79
24. Prisa, D. (2020). Particle films: chabazitic zeolites with added microorganisms in the protection and growth of tomato plants (*Lycopersicon esculentum* L.). *GSC Advanced Research and Reviews*, 4(2), 01-08
25. Prisa, D. (2016). Trattare la vite con i microrganismi EM Bollettino informativo di legislazione vitivinicola n.20- maggio 2016
26. Vorholt, J.A. (2012) Microbial life in the phyllosphere. *Nat Rev Microbiol* 10,828–840
27. Rana, K.L., Kour, D., Yadav, N. & Yadav, A.N. (2020) Endophytic microbes in nanotechnology: current development, and potential biotechnology applications. In: Kumar A, Singh VK (eds) *Microbial endophytes*. Woodhead Publishing, 231–262
28. Yadav, A.N., Kumar, R., Kumar, S., Kumar, V., Sugitha, T., Singh, B., Chauhan, V., Dhaliwal, H.S. & Saxena, A.K. (2017) Beneficial microbiomes: biodiversity and potential biotechnological applications for sustainable agriculture and human health. *J Appl Biol Biotechnol*. 5,45–57

LEGGI GLI ULTIMI APPROFONDIMENTI



L'unico blog online ideato e
redatto da esperti
del settore agroalimentare.
Ogni settimana un nuovo articolo!

L'AUTORE

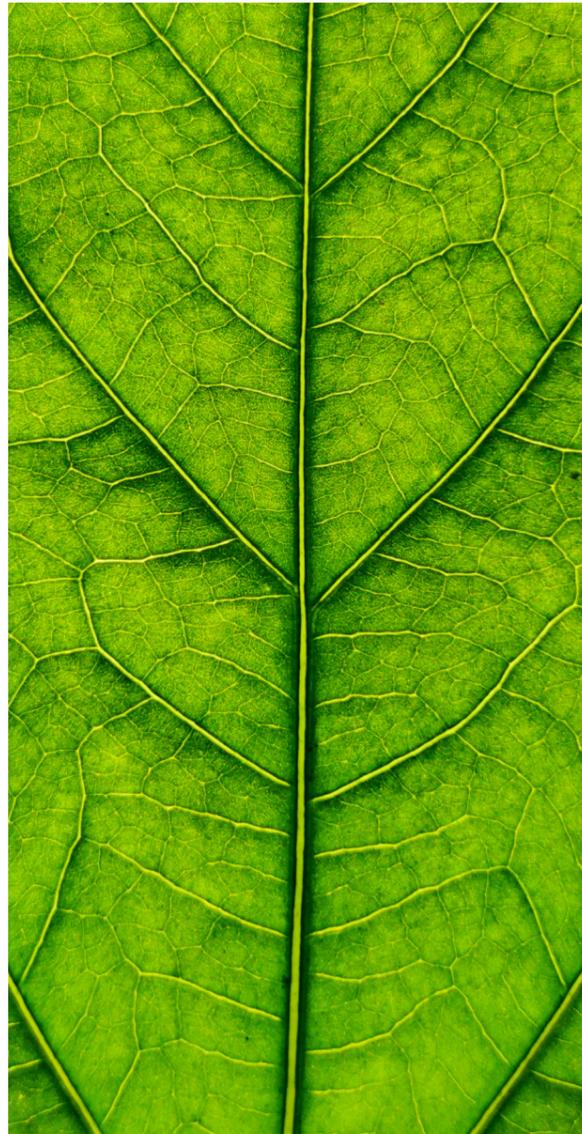
**Giuseppe C. Modarelli**

Assegnista di ricerca nel progetto europeo H2020 FoodE presso il Dipartimento di Agraria dell'Università di Napoli Federico II. È specializzato nella coltivazione di specie ortofrutticole e ornamentali in ambiente controllato in sistemi ponici, con un focus sulle risposte eco-fisiologiche e produttive che queste piante mostrano. Nel corso della sua carriera ha collaborato con diversi gruppi di ricerca sia italiani che internazionali.

L'ILLUMINAZIONE ARTIFICIALE LED IN AGRICOLTURA PER L'OTTIMIZZAZIONE DELLA CRESCITA DELLE PIANTE

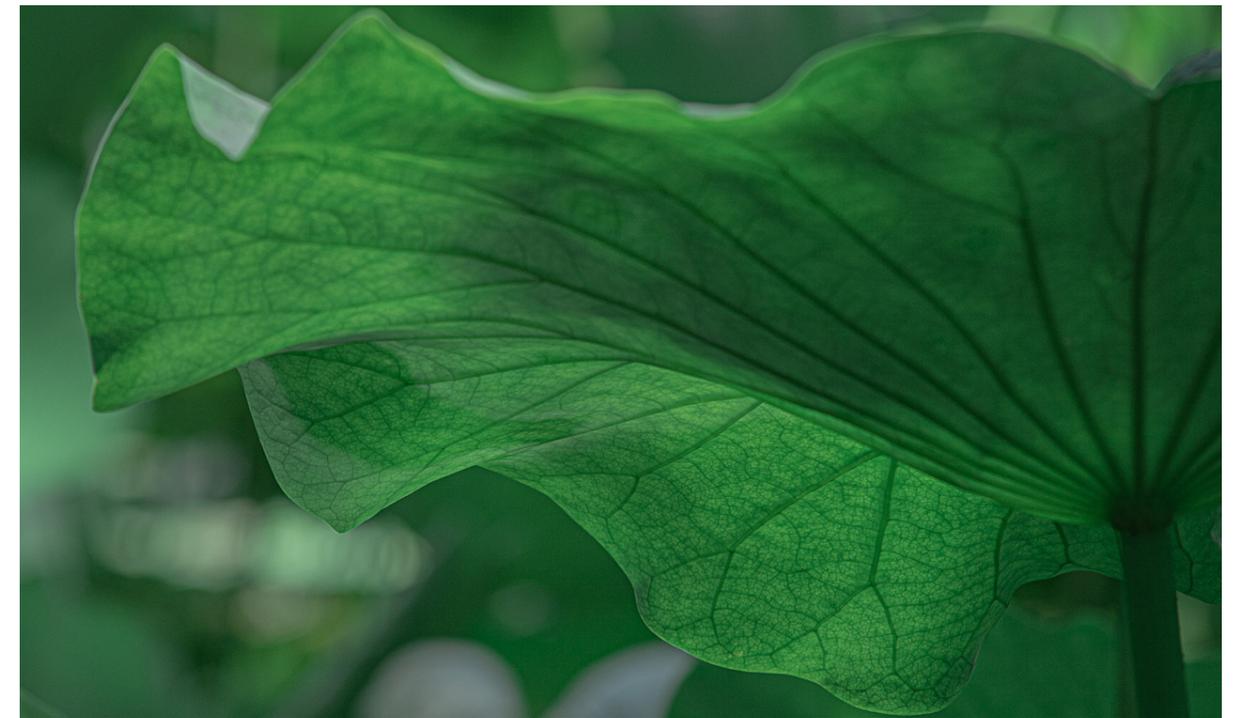
La luce ha un ruolo importantissimo nella vita delle piante, dalla fotosintesi alla regolazione di risposte metaboliche. Le piante percepiscono e assorbono la luce grazie a specifici pigmenti e fotorecettori: le lampade LED ci permettono di creare spettri *ad hoc* per le diverse specie. A differenza delle sorgenti luminose tradizionali, garantiscono diverse applicazioni dall'illuminazione *sole source in vertical farms*, all'illuminazione supplementare in serra fino all'illuminazione fotoperiodica.

Meccanismi di ricezione della luce e ruolo della radiazione luminosa nella crescita delle piante



Le piante, insieme a tutti gli organismi fotosintetici, sono intrinsecamente collegate all'universo grazie alla fotosintesi e quindi alla **capacità di utilizzare la radiazione elettromagnetica compresa fra 400 nm e 700 nm** (radiazione fotosin-

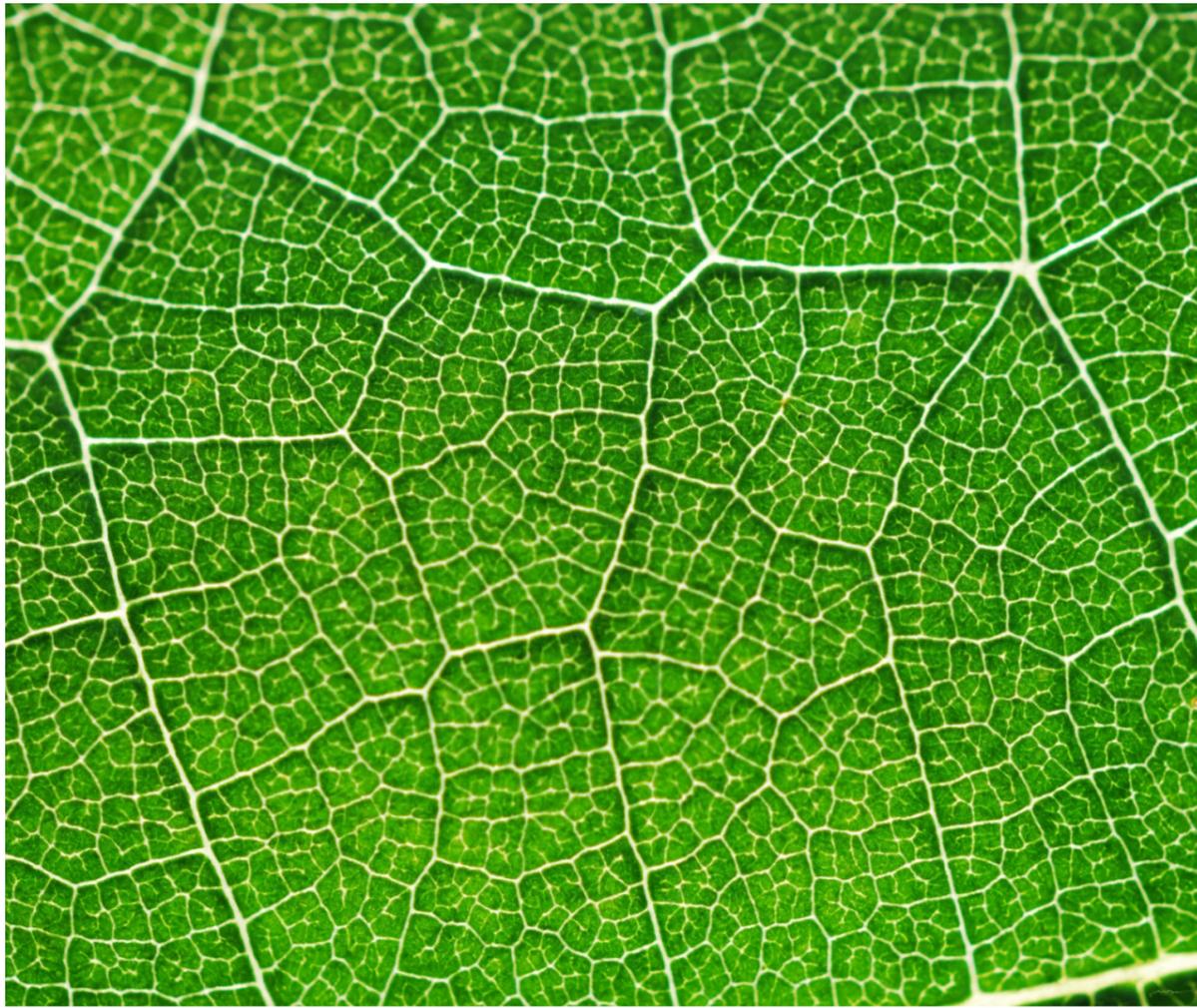
teticamente attiva, PAR) oppure, come recentemente diversi studiosi propongono, fra 400 nm e 750 nm (radiazione fotosinteticamente attiva estesa, ePAR). L'utilizzo di queste radiazioni solari è indispensabile per permettere alla pianta l'accrescimento dei frutti e per regolare diverse funzioni fisiologiche. La luce, infatti, misurata in ambito agrario come μmol di fotoni $\text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$, è un fattore essenziale per il processo di fotosintesi e per la regolazione di diverse funzioni metaboliche, dai ritmi cicardiani alle diverse risposte e adattamenti fotomorfo-anatomici. Da un punto di vista evolutivo le piante, come tutti gli organismi fotosintetici, si sono sviluppati per massimizzare l'assorbimento e l'uso della luce. A seconda della funzione e del tipo di lunghezza d'onda, le piante hanno sviluppato pigmenti fotosintetici, pigmenti fotoprotettivi con azione antiossidante, meglio noti come **composti polifenolici** e **fotorecettori**. Per pigmenti fotosintetici intendiamo le molecole di clorofilla *a*, *b* e carotenoidi. Mentre la clorofilla *a* assorbe principalmente la luce nello spettro visibile con picchi di assorbimento a 430 nm (blu) e 665 nm (rosso), la clorofilla *b* assorbe principalmente a 453 nm e 642 nm e i carotenoidi principalmente nel blu fra 430 nm e 460 nm. All'interno della pianta queste molecole si localizzano principalmente



nei cloroplasti, nello specifico all'interno dei tilacoidi dove, **disposte insieme in una macromolecola chiamata sistema antenna, sono capaci di catturare e canalizzare i fotoni verso i centri di reazione del fotosistema II per poi attivare la catena di trasporto elettronico fra il fotosistema II e il fotosistema I.**

A seconda del rapporto di clorofilla *a*, *b* e carotenoidi si avrà una diversa architettura e capacità di assorbire fotoni. Nello specifico, quando un fotone raggiunge il sistema antenna del PSII, esso rimbalza fra i diversi pigmenti venendo canalizzato fino a giungere al centro di reazione del PSII fornendo energia per il processo di fotosintesi e per la formazione di altre molecole indispensabili per il metabolismo vegetale. **Non tutti i fotoni riusciranno a essere assorbiti ed effettivamente utilizzati nel processo fotosintetico, ma potranno essere utilizzati in meccanismi come processi di fotorespirazione quali il trasporto ciclico di elettroni nel PSI, nel metabolismo dell'a-**

zoto oppure dissipati tramite fluorescenza o radiazione termica. Da un punto di vista fotochimico la frazione di luce effettivamente assorbita dal fotosistema II viene definita come Φ_{PSII} mentre la frazione di luce dissipata in processi regolati viene definita come *quenching* non fotochimico (Φ_{NPQ}) e la frazione di luce dissipata in processi non regolati e quindi molto dannosi per i fotosistemi è definita come Φ_{NO} , a livello fotochimico la somma di questi tre processi è sempre uguale a 1 [1]. In termini di penetrazione nei tessuti, data l'alta concentrazione di clorofille nel margine superiore della foglia, **la luce rossa e quella blu non penetrano in profondità nei tessuti vegetali e nella chioma, mentre la luce verde e quella rosso lontano penetrano in profondità contribuendo alla fissazione del carbonio nei tessuti e nelle zone più interne della chioma o maggiormente in profondità nelle cellule vegetali.** Le variazioni in termini di intensità luminosa, composizione spettrale (qualità) e dura-



ta della luce sono invece percepite da specifici fotorecettori capaci di:

- distinguere le diverse lunghezze d'onda;
- regolare diverse funzioni come la crescita, la morfologia e la vita delle piante con processi sinergici o antagonisti [2].

Essi sono divisi in 5 gruppi a seconda del tipo di lunghezza d'onda e funzione elicitata.

Fra questi, i **fitocromi** sono principalmente dedicati nell'assorbimento del rosso e del rosso lontano, ma con picchi di assorbimento anche nel blu. I fitocromi regolano a livello metabolico i ritmi circadiani, la germinazione, il passaggio da una fase fenologica a un'altra e

soprattutto l'induzione di risposte fotomorfogenetiche come la fioritura.

I **criptocromi** sono fotorecettori principalmente specializzati nell'assorbimento della radiazione blu, regolano l'apertura stomatica, l'allungamento degli internodi e la sintesi di composti fotoprotettivi e antiossidanti. Le **fototropine** sono fotorecettori principalmente specializzati nell'assorbimento della luce blu e UV, essi regolano principalmente il tropismo delle foglie, il movimento dei cloroplasti e la sintesi di composti fotoprotettivi. Le **zeitlupe** e l'**UVR8** sono responsabili invece della percezione della radiazione UV e dell'induzione alla sintesi di composti fotoprotettivi di natura polifenolica.

L'illuminazione artificiale nell'agricoltura 4.0

Dunque, come descritto precedentemente, la capacità della pianta di svolgere specifiche attività (fotosintesi, accrescimento fogliare e vari pathway metabolici) dipende dalla tipologia delle radiazioni luminose coinvolte, come anche dai fotorecettori. Ad oggi, l'agricoltura 4.0 ha individuato diversi sistemi che permettono di regolare l'attività della pianta proprio sfruttando le cono-

scenze circa le modalità di interazione con la luce.

- **Sole source lighting (vertical farms).**

Per *sole source lighting* si intende il tipo di illuminazione tipico di ambienti con assenza di luce come le *vertical farm* dove la luce viene interamente fornita alle colture attraverso illumi-



Fig. 1 - Vertical farm.

nazione artificiale, specialmente di tipo LED come in (Fig. 1).

- **Supplemental lighting in serra**

Per *supplemental lighting* si intende l'integrazione della radiazione solare incidente in un ambiente di coltivazione con luce supplementare LED. Molto spesso viene **utilizzata per garantire il raggiungimento di fabbisogni luminosi target**, meglio noti come integrali giornalieri di luce o *Daily Light Integrals (DLI)*. Il *supplemental lighting* è utile soprattutto quando la

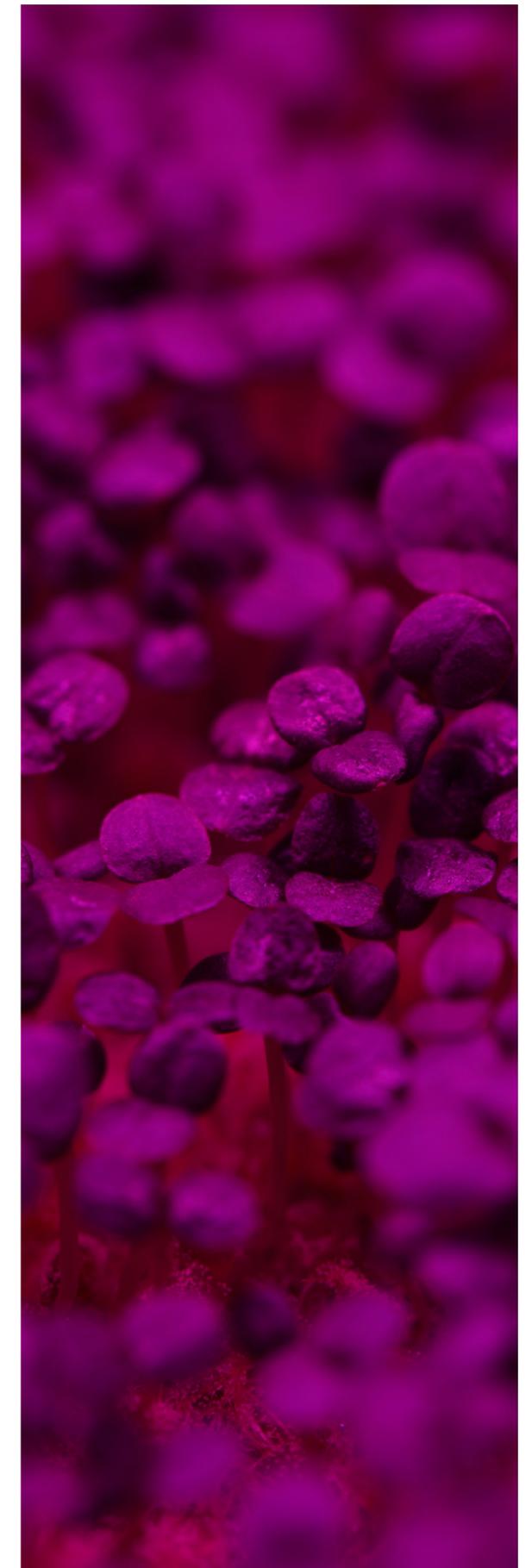
radiazione solare è al di sotto di un valore target specie specifico e può essere utilizzata anche per regolare la qualità delle produzioni orticole (Fig. 2) e regolare il fotoperiodo delle specie fotosensibili. Nel caso di illuminazione supplementare su piante a foglia tipo lattuga, rucola ed indivia, essa viene erogata dall'alto (**Top lighting**) mentre nel caso di coltivazioni di pomodori o altre specie da frutto a fusto, per favorire l'uniformità di distribuzione della luce e favorire la fotosintesi nelle zone più basali



Fig. 2 - Illuminazione supplementare LED applicata in indivie e lattughe nell'impianto di acquaponica a ricircolo del Centro di Ateneo per l'Innovazione e lo Sviluppo dell'Industria Alimentare (CAISIAL) presso il dipartimento di Agraria dell'Università di Napoli Federico II (Credits: Giuseppe Carlo Modarelli).

meno esposte in termini di intensità e qualità della luce incidente, si è soliti applicare il *supplemental lighting* anche in verticale fra le file (**Inter Lighting**). Per ultimo, l'illuminazione supplementare può essere applicata anche nel settore floricolo, sia di tipo fotosintetizzante che per l'induzione alla fioritura con trattamenti di illuminazione fotoperiodica. Quest'ultima tecnica a differenza delle precedenti è la meno energeticamente dispendiosa.

Oltre che la tipologia di luce, è importante definire anche le corrette quantità da fornire. Per *Daily Light Integral* (integrale di luce giornaliera), ad esempio, si intende **l'ammontare di luce che raggiunge una superficie in un giorno o durante il fotoperiodo luminoso**. Esso viene utilizzato per regolare e programmare le produzioni in ambiente controllato come serre e *vertical farms* e i fabbisogni luminosi variano a seconda delle specie: 9 moli di fotoni al giorno (moli $m^{-2} g^{-1}$) per la produzione di *microgreens*, 14-17 moli $m^{-2} g^{-1}$ per la produzione di lattuga a foglia verde [3], fino a 22 moli $m^{-2} g^{-1}$ per la produzione di lattuga a foglia rossa, dato l'elevato contenuto di antocianine che schermano parte della radiazione incidente sui fotosistemi [4]. Per la produzione di pomodori sono necessarie circa 30 moli $m^{-2} g^{-1}$ e siamo sopra i 60 moli $m^{-2} g^{-1}$ per la produzione di cannabis. **Il DLI può essere applicato sia in funzione di un fotoperiodo fisso aumentando l'intensità luminosa che estendendo la durata del periodo di illuminazione, riducendo l'intensità e aumentando l'efficacia di assorbimento della luce da parte delle piante** [5,6].



Effetto dello spettro luminoso sulla composizione nutritiva delle colture



Come precedentemente menzionato, le diverse lunghezze d'onda che compongono lo spettro luminoso vengono percepite da specifici fotorecettori, specializzati nell'assorbimento di una o più lunghezze d'onda. **Ogni lunghezza d'onda influenza sia singolarmente che in sinergia con altre le diverse risposte morfofisiologiche e del metabolismo secondario** [7]. Infatti, la luce rossa è favorisce il processo fotosintetico, la crescita e il relativo accumulo di biomassa nei tessuti. La luce blu riduce la lunghezza degli internodi, producendo piante più compatte, inoltre regola l'apertura e chiusura degli stomi svolgendo un ruolo chiave nell'assorbimento di anidride carbonica da parte delle piante. In merito al verde, fino a qualche anno fa si pensava non avesse effetti sulle colture dato che le piante, e nello specifico le clorofille, riflettono circa il 75% di luce proveniente da fotoni verdi [8]. In aggiunta, pochi studi fino a cinque anni fa esistevano sugli effetti del rosso lontano, in quanto si credeva avesse un ruolo chiave nelle alterazioni morfo anatomiche e non sul processo di fotosintesi [9]. Tuttavia **recenti studi dimostrano la capacità dei fotoni verdi e rosso lontano penetrare in profondità nei tessuti vegetali, stimolando la fotosintesi**. A questo si aggiunge il fatto che luce verde e rosso lontano sono energeticamente meno dispendiose, secondo la costante di conservazione dell'energia di Planck, ri-

spetto a quella blu e agli UV. In uno studio, si è visto come luce rosso con luce verde o con luce rosso lontano, induce in lattuga e cavolo risposte di "shade avoidance". Si tratta di quelle risposte di adattamento a condizioni di bassa radiazione luminosa o di basso rapporto rosso-rosso lontano che portano ad aumentare l'espansione fogliare allo scopo di intercettare più luce e favorire l'accumulo di biomassa [10].

Il **rosso lontano**, svolge un ruolo chiave nella regolazione di processi di regolazione fotomorfogenetica, infatti aumenta l'accumulo di biomassa e l'espansione fogliare per assorbire più luce, in specie "shade tolerant", mentre in specie "shade avoidance" induce l'allungamento degli internodi. In diverse specie fotoperiodiche svolge un'azione importante insieme al rosso nella regolazione dell'induzione alla fioritura. **Cambiamenti nell'ambiente di coltivazione in termini di intensità e qualità dello spettro luminoso o un basso contenuto di nutrienti possono stressare le colture che in risposta sintetizzano composti fotoprotettivi, quali polifenoli, per ridurre l'incidenza del danno**. Questi composti a livello vegetale svolgono un ruolo chiave nello schermare eccessi di radiazione o di particolari lunghezze d'onda dannose come i raggi UV, riducendo sia l'incidenza che la severità del danno fotoossidativo. I composti polifenolici possono essere classificati in 1) fenoli, 2) acidi fenolici, 3) derivati dell'acido idrossicinnamico e flavonoidi. Il consumo di prodotti con alto contenuto di polifenoli ha diversi effetti benefici per l'uomo, mostrando una elevata attività antiossidante e anti-infiammatoria e agiscono contro il rischio di diabete e cancro. La

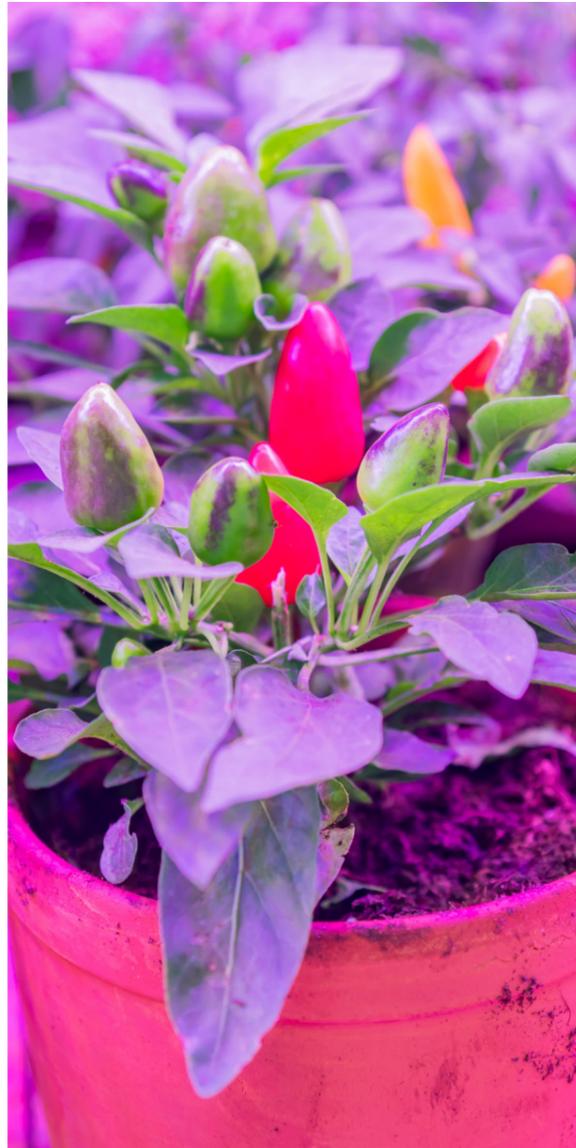
luce blu è risultata efficace nell'aumentare questi composti in prezzemolo, basilico, pomodoro e lattuga. Inoltre, nel lattughino da taglio si è osservato come trattamenti supplementari di UV-A, blu, rosso o rosso lontano aumentino il contenuto di acido ascorbico, antocianine e altri fenoli. In aggiunta, **modulando la qualità della luce blu e rossa è possibile influenzare l'accumulo di minerali e composti aromatici in basilico**. Il rosso lontano a livello metabolico riduce il contenuto di clorofille ed è risultato efficace nel promuovere il contenuto di acido clorogenico e caffeico [11-14].



Il ruolo della durata della luce nella regolazione della fioritura

La durata della luce, o del fotoperiodo, viene percepita dalle piante per regolare le loro fasi fenologiche come ad esempio la fioritura. **L'illuminazione fotoperiodica rispetto all'illuminazione sole source o supplementare fotosintetica, generalmente richiede, per l'induzione alla fioritura, intensità molto basse (<5 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ di fotoni).** I trattamenti fotoperiodici vengono realizzati al fine di regolare la risposta morfofisiologica delle piante che vengono classificate in base alla loro sensibilità alla durata del giorno (o del periodo notturno). **Le diverse specie vengono classificate come longidiurne, brevidiurne o neutrodiurne.** All'interno di questa classificazione è possibile dividere le risposte alla luce in facoltative e obbligate.

Nei trattamenti fotoperiodici su specie longidiurne, Runkle *et al.* 2015 hanno mostrato come il rapporto fra rosso e rosso lontano, volto a creare un equilibrio del fitocromo (*Phytochrome Photo Equilibrium*, **PPE**) intermedio, acceleri la fioritura, rispetto a PPE elevati o bassi [15]. Invece, nelle specie geofite ornamentali longidiurne mediterranee come il ranuncolo, questa **regolazione** risulta **varietà specifica** e a parità di PPE ottenuto da sorgenti luminose diverse, risulta maggiormente influenzato dal rapporto tra rosso e rosso lontano rispetto al valore stimato di PPE [16,17]. Nelle specie brevidiurne come il crisantemo è stata osservata una risposta diversa in



base all'ambiente di coltivazione (*vertical farm* o serra) soprattutto in merito all'effetto della luce blu sull'induzione alla fioritura. Questo perché la radiazione di sottofondo influenza in modo notevole i rapporti dell'illuminazione fotoperiodica percepita dalle piante [18].

Ottimizzazione dei consumi energetici negli ambienti di coltivazione



Con la comparsa sul mercato dei LED, in agricoltura è stato possibile **conoscere e discernere meglio gli effetti della radiazione luminosa e delle singole lunghezze d'onda e ridurre notevolmente i consumi energetici per illuminare le colture, rispetto alle lampade a incandescenza e al sodio (HPS).** In un'ottica di ottimizzazione dei consumi energetici sempre più necessaria e doverosa per una migliore gestione dell'ambiente di coltivazione, è necessario **dotarsi di strumenti in grado di regolare sia la composizione spettrale che l'intensità e la durata,** monitorando in continuo lo sviluppo e lo stato fotochimico e nutrizionale delle colture. In questo **la luce LED permette di regolare sia la composizione spettrale che l'intensità** grazie alla sua capacità di essere dimmerata. Nel far questo le aziende del presente e del futuro dovranno dotarsi di sistemi di controllo delle variabili ambientali e soprattutto della luce. Fra le soluzioni tecnologicamente disponi-

bili sul mercato, grazie all'**Internet of Things** è possibile regolare e monitorare da remoto diverse variabili ambientali. Ad esempio il sistema **Candidus** permette di ottimizzare l'illuminazione supplementare con elevata precisione in funzione sia del DLI target, che della radiazione istantanea mancante al raggiungimento degli obiettivi. Il tutto **permette di ridurre i consumi energetici di oltre il 40% rispetto all'illuminazione supplementare tradizionale.** In aggiunta la regolazione dello spettro luminoso può essere condotta in diverse fasi di sviluppo, soprattutto prima della raccolta per aumentare la sintesi di composti nutraceutici. Oltre alla possibilità di utilizzare luce proveniente da lampade che quindi richiedono energia, diverse tecnologie sono state sviluppate in ambito agricolo, anche se ancora poco utilizzate, per migliorare l'utilizzo della luce naturale. Infatti, **grazie alle fibre ottiche è possibile trasportare la luce, catturata con dei collettori, da un luogo ad un altro e diffonderla in un ambiente di coltivazione grazie all'utilizzo di diffusori di luce.** Queste tecnologie sono molto promettenti ma necessitano di ulteriori studi e implementazioni per migliorare l'illuminazione in ambienti chiusi come le *vertical farm*. Inoltre, sarebbe auspicabile lo sviluppo di **sistemi ibridi di illuminazione LED/collettori di luce** in modo da ottimizzare ulteriormente l'utilizzo delle risorse.

Conclusioni

Le piante percepiscono la luce attraverso diversi e specifici fotorecettori. La luce regola la crescita e lo sviluppo delle colture permettendo il funzionamento della fotosintesi e la sintesi di diversi composti che, nel caso delle specie alimentari o farmaceutiche, hanno un elevato grado di nutrizione. Comprendere i meccanismi che si celano dietro l'assorbimento della luce è necessario al

fine di ottimizzarne l'uso sia in funzione produttiva, che di sostenibilità energetica. Abbiamo un grande patrimonio che ci viene fornito a costo zero dal sole, e non è troppo lontano il momento in cui cominceranno a diffondersi soluzioni sempre più automatizzate e integrate con altre tecnologie, che prenderanno piede nel settore alimentare italiano e mondiale.

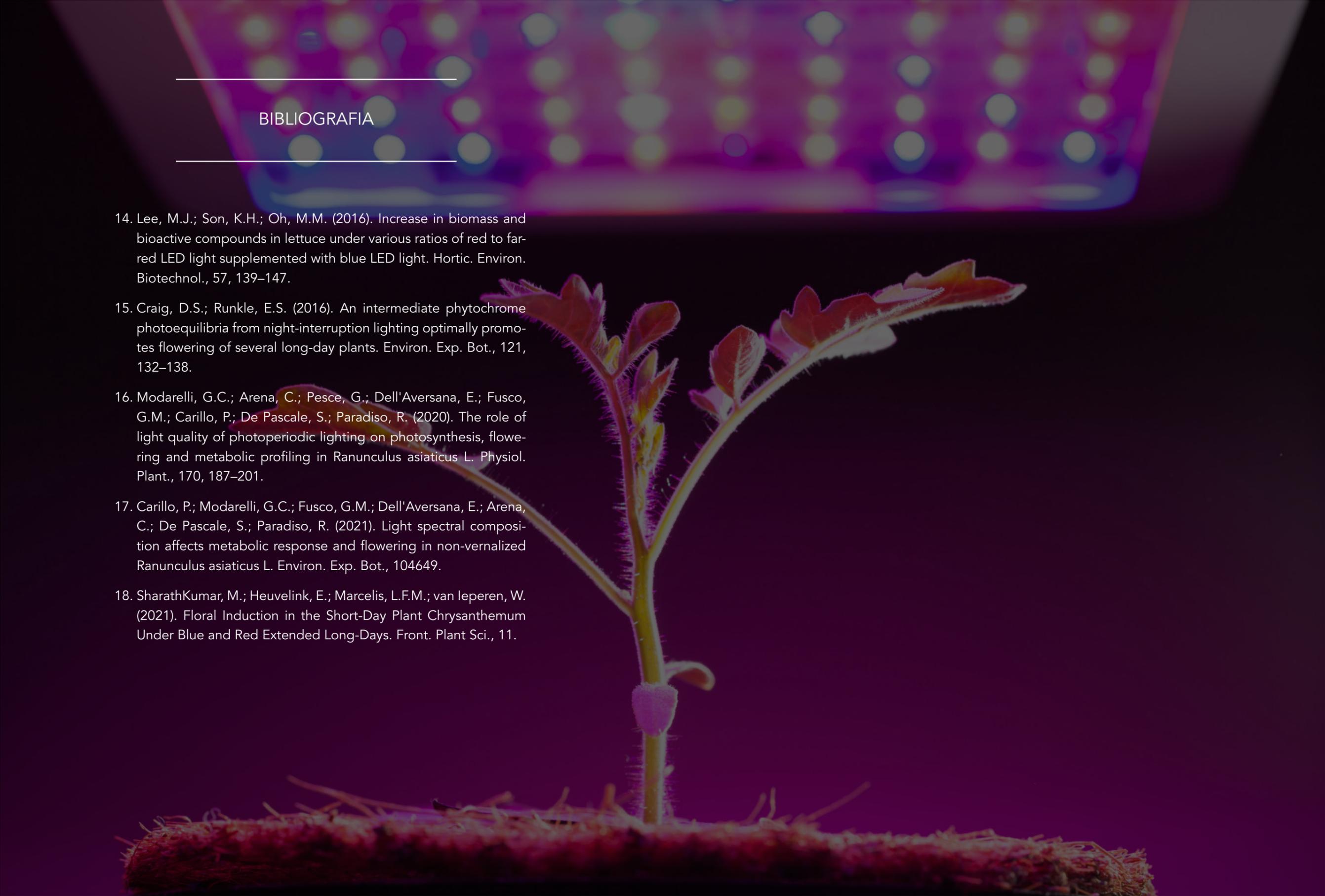


La luce è essenziale per la vita sul nostro pianeta. Una corretta comprensione della sua natura fisica e dei suoi effetti è necessaria per poterla sfruttare al meglio. Bisognerebbe pensare alla nutrizione luminosa come una disciplina di pari importanza della nutrizione minerale data la sua complessità e la complessità degli organismi vegetali.

BIBLIOGRAFIA

1. Maxwell, K.; Johnson, G.N.(2000) Chlorophyll fluorescence—a practical guide. *J. Exp. Bot.*, 51, 659–668.
2. Fukuda, N. *Plant Growth and Physiological Responses to Light Conditions* (2019). *Plant Fact. Using Artif. Light*, 71–77.
3. Pennisi, G.; Pistillo, A.; Orsini, F.; Cellini, A.; Spinelli, F.; Nicola, S.; Fernandez, J.A.; Crepaldi, A.; Gianquinto, G.; Marcelis, L.F.M. (2020). Optimal light intensity for sustainable water and energy use in indoor cultivation of lettuce and basil under red and blue LEDs. *Sci. Hortic. (Amsterdam)*, 272, 109508.
4. Modarelli, G.C.; Paradiso, R.; Arena, C.; De Pascale, S.; Van Labeke, M.C. (2022). High Light Intensity from Blue-Red LEDs Enhance Photosynthetic Performance, Plant Growth, and Optical Properties of Red Lettuce in Controlled Environment. *Horticulturae*, 8.
5. Kelly, N.; Choe, D.; Meng, Q.; Runkle, E.S. (2020). Promotion of lettuce growth under an increasing daily light integral depends on the combination of the photosynthetic photon flux density and photoperiod. *Sci. Hortic. (Amsterdam)*, 272, 109565.
6. Elkins, C.; van Iersel, M.W. (2020) Longer photoperiods with the same daily light integral increase daily electron transport through photosystem II in lettuce. *Plants*, 9, 1–14.
7. Paik, I.; Huq, E. (2019). Plant photoreceptors: Multi-functional sensory proteins and their signaling networks. *Semin. Cell Dev. Biol.*, 92, 114–121.
8. Folta, K.M.; Maruhnich, S.A. (2007). Green light: A signal to slow down or stop. *J. Exp. Bot.*, 58, 3099–3111.
9. Demotes-Mainard, S.; Péron, T.; Corot, A.; Bertheloot, J.; Le Gourrierec, J.J.; Pelleschi-Travier, S.; Crespel, L.; Morel, P.; Huché-Théliér, L.; Boumaza, R.; et al. (2016). Plant responses to red and far-red lights, applications in horticulture. *Environ. Exp. Bot.*, 121, 4–21.
10. Meng, Q.; Kelly, N.; Runkle, E.S. (2019). Substituting green or far-red radiation for blue radiation induces shade avoidance and promotes growth in lettuce and kale. *Environ. Exp. Bot.*, 162, 383–391.
11. Dueck, T.; van Ieperen, W.; Taulavuori, K. (2016). Light perception, signalling and plant responses to spectral quality and photoperiod in natural and horticultural environments. *Environ. Exp. Bot.*, 121, 1–3.
12. Hyöky, V.; Oksanen, J.; Taulavuori, E.; Julkunen-Tiitto, R.; Taulavuori, K.; Hyöky, V.; Oksanen, J.; Taulavuori, E.; Julkunen-Tiitto, R. (2016) Species-specific differences in synthesis of flavonoids and phenolic acids under increasing periods of enhanced blue light. *Environ. Exp. Bot.*, 121, 145–150.
13. Pennisi, G.; Blasioli, S.; Cellini, A.; Maia, L.; Crepaldi, A.; Braschi, I.; Spinelli, F.; Nicola, S.; Fernandez, J.A.; Stanghellini, C.; et al.(2019) Unraveling the Role of Red:Blue LED Lights on Resource Use Efficiency and Nutritional Properties of Indoor Grown Sweet Basil. *Front. Plant Sci.*, 10, 305.

BIBLIOGRAFIA

- 
14. Lee, M.J.; Son, K.H.; Oh, M.M. (2016). Increase in biomass and bioactive compounds in lettuce under various ratios of red to far-red LED light supplemented with blue LED light. *Hortic. Environ. Biotechnol.*, 57, 139–147.
15. Craig, D.S.; Runkle, E.S. (2016). An intermediate phytochrome photoequilibria from night-interruption lighting optimally promotes flowering of several long-day plants. *Environ. Exp. Bot.*, 121, 132–138.
16. Modarelli, G.C.; Arena, C.; Pesce, G.; Dell'Aversana, E.; Fusco, G.M.; Carillo, P.; De Pascale, S.; Paradiso, R. (2020). The role of light quality of photoperiodic lighting on photosynthesis, flowering and metabolic profiling in *Ranunculus asiaticus* L. *Physiol. Plant.*, 170, 187–201.
17. Carillo, P.; Modarelli, G.C.; Fusco, G.M.; Dell'Aversana, E.; Arena, C.; De Pascale, S.; Paradiso, R. (2021). Light spectral composition affects metabolic response and flowering in non-vernalized *Ranunculus asiaticus* L. *Environ. Exp. Bot.*, 104649.
18. SharathKumar, M.; Heuvelink, E.; Marcelis, L.F.M.; van Ieperen, W. (2021). Floral Induction in the Short-Day Plant *Chrysanthemum* Under Blue and Red Extended Long-Days. *Front. Plant Sci.*, 11.

GLI AUTORI



Simone Bergonzoli

Ricercatore presso il Consiglio per la Ricerca in agricoltura e l'analisi dell'Economia Agraria – Centro ingegneria e trasformazioni alimentari (CREA-IT) di Treviglio (BG), laureato in scienze agrarie e dottore di ricerca in meccanica agrarie. Aree di ricerca e di interesse: bioenergie, ecologia e apicoltura.



Antonio Scarfone

Ricercatore presso il Consiglio per la Ricerca in agricoltura e l'analisi dell'Economia Agraria – Centro ingegneria e trasformazioni alimentari (CREA-IT) di Monterotondo (RM), laureato in scienze forestali e dottore di ricerca in scienze ambientali. Aree di ricerca e interesse: bioenergie, botanica e apicoltura.

INFLUENZA DELLE CARATTERISTICHE DEL SUOLO SULLA PRODUZIONE DI MIELE DA GIRASOLI

Il girasole è una specie di grande interesse alimentare, sia per la produzione di olio che di miele. Negli ultimi anni è stata osservata una diminuzione delle produzioni di miele da girasole anche se i reali motivi non sono ancora molto chiari. Allo scopo di valutare i principali parametri in grado di influenzare la qualità e la produzione di nettare, uno studio del CREA-IT ha messo in evidenza come diversi trattamenti del suolo possono influenzare le eventuali relazioni tra la qualità del suolo stesso, dovuta alla fertilizzazione, la salute della pianta, la produzione di nettare e le preferenze degli impollinatori.

L'interesse del girasole in apicoltura

Il **girasole** (*Helianthus annuus L.*) è una pianta erbacea a impollinazione incrociata, appartenente alla famiglia delle *Asteraceae*, che richiede gli insetti impollinatori per la produzione di seme. La specie è considerata una delle più importanti per la produzione di olio con una superficie coltivata globale pari a 27.000.000 ha. In Italia la coltivazione è concentrata nella parte centrale, dove 123.000 ha vengono coltivati in condizioni non irrigue [1]. **Il girasole è anche considerata una specie di interesse apistico, catalogata come una delle migliori dal punto di vista del potenziale nettario.** Nonostante il grande interesse dal punto di vista dell'apicoltura, studi dimostrano che negli ultimi anni **la produzione di miele monoflora di girasole sta profondamente diminuendo** [2-3]. Molte teorie sono state pronunciate a riguardo, il cambiamento climatico è sicuramente uno dei fattori principali poiché la produzione di nettare si basa su condizioni ambientali ottimali, che sono difficili da mantenere soprattutto in colture non irrigue come il girasole. **Alte temperature, stress idrico e bassa umidità relativa dell'aria sono condizioni che limitano la produzione di nettare** [4-5]. Oltre a questi fattori limitanti, un'ulteriore riduzione del nettare prodotto è causata dall'uso di ibridi auto fertili che rispetto alle varietà rustiche sembrano produrre nettare in misura ridotta o di differente composizione [2]. Alcuni studi suggeriscono inoltre che la produzione di nettare sia influenzata dalle **proprietà del suolo,**

in maniera diretta o indiretta (aumentando la densità di piante per superficie di suolo) [6]. In ogni caso, nonostante alcuni studi scientifici pubblicati recentemente, ci sono ancora molti dubbi sulle relazioni tra proprietà del suolo, genotipi coltivati e attività degli impollinatori e nettare. **Lo scopo del presente studio è quello di studiare il loop microbiologico tra suolo, pianta, nettare e insetti impollinatori** per comprendere eventuali relazioni tra la qualità del suolo (dovuta dal regime di fertilizzazione), la salute della pianta, la produzione di nettare e le preferenze degli impollinatori.



Sperimentazione in campo per la valutazione del loop microbiologico

Il sito delle prove è stato istituito all'interno dell'azienda sperimentale del CREA-IT di Treviglio (Bergamo, Italia) (Fig. 1). Una varietà ibrida del girasole (*Helianthus annuus L.*) è stata seminata all'interno di un appezzamento di circa 1 ha, mai coltivato prima delle prove. La densità di semina selezionata è stata di 7 piante al m². **Le principali caratteristiche fisico-chimiche del suolo prima di iniziare il test sono state studiate raccogliendo dei campioni di suolo dall'area di studio.** Il girasole è stato coltivato senza apporto irriguo. Per poter valutare le interazioni tra suolo

e nettare, tre trattamenti del suolo sono stati identificati: un controllo corrispondente al suolo coltivato senza alcun apporto di fertilizzanti, un suolo coltivato con l'impiego di fertilizzante e uno suolo coltivato con l'applicazione di compost. Riguardo il trattamento con fertilizzante, 30 g/m² di fertilizzante chimico, un composto N-P-K 15-15-15, sono stati apportati al suolo dopo la semina e all'inizio della fioritura con una dose di 300 kg/ha. Invece, il trattamento con il compost è stato effettuato con una dose di 3 kg/m² prima dell'epicatura e il compost



Fig. 1 - Sito sperimentale (zona verde: pieno campo, zona rossa: struttura protetta, zona blu: prove in vaso).

utilizzato era caratterizzato da: 50% umidità, 8 pH, salinità 1.5 dS/m, C organico 20%, rapporto C/N 25. Ovviamente, sulle parcelle del trattamento controllo non è stato applicato nessun fertilizzante durante l'intero ciclo colturale.

Durante lo sviluppo, le piante sono state campionate utilizzando lo strumento **Dualex** (Fig. 2), un sensore ottico per la lettura della superficie fogliare che permette analisi non distruttive in grado di misurare clorofilla, flavonoli, antociani e calcolare l'indice del bilancio di azoto (NBI®) che correla il contenuto di clorofilla e flavonoli (relativi all'allocazione di azoto e carbonio). I campionamenti sono stati eseguiti testando la superfi-



Fig. 2 - Visuale dello strumento Dualex in fase di lettura.

cie superiore e inferiore delle foglie di 12 differenti piante per ogni parcella in due momenti diversi a distanza di quindi giorni. Per misurare la composizione del nettare e la sua concentrazione è stato usato il metodo "washing", ovvero dieci fiori prelevati dalla stessa infiorescenza sono stati raccolti in una provetta con 5ml di acqua distillata (Fig. 3). Tre campioni per ogni trattamento sono stati raccolti e la fase acquosa in cui sono stati immersi i fiori è stata analizzata dopo essere stata filtrata.

I parametri misurati sono stati i residui solubili (SSR) e la concentrazione degli zuccheri, valutata mediante cromatografia che ha permesso la separazione dei



Fig. 3 - Raccolta dei fiori per l'analisi del nettare.

diversi carboidrati: polisaccaridi a basso peso molecolare, rafinosio, saccarosio, glucosio, fruttosio e mannitolo.

A quattro mesi dall'inizio della prova la biomassa totale presente in ogni plot è stata raccolta, steli e fiori sono stati pesati separatamente (Fig. 4a e 4b). Il peso secco e l'umidità di ogni frazione di tutti i trattamenti sono stati misurati seguendo la procedura standard **EN ISO 18134-2:2017** [7].

Dopo la raccolta della biomassa, campioni di suolo sono stati raccolti da ogni plot per lo studio della variazione delle caratteristiche fisico-chimiche dei trattamenti rispetto al campionamento eseguito prima di eseguire la prova parcellare. I parametri analizzati sono stati: argilla, limo, sabbia, pH, carbonio organico (C), azoto (N), Olsen P e potassio (K) scambiabile. Al fine di studiare le preferenze degli insetti impollinatori è stata predisposta una seconda prova sperimentale all'interno di una serra (Fig. 5) in cui le pareti anteriori e posteriori sono state lasciate aperte al fine di permettere la ventilazione e l'ingresso degli insetti. All'interno della serra il suolo è stato seminato con due varietà di girasole, la varietà ibrida e quella rustica. Per studiare l'attività degli insetti impollinatori sono state acquisite immagini delle infiorescenze dei girasoli attraverso delle videocamere. Le immagini sono state acquisite da un *single-board* computer con wireless LAN e connettività Bluetooth e una camera v2 per 7 giorni consecutivi a partire dallo stadio di fioritura. Successivamente è stata applicata alle immagini una metodologia di analisi per il conteggio degli insetti impollinatori presenti in ogni infiorescenza di ogni immagine.



Fig. 4a - Pesatura dei fusti e foglie (a).



Fig. 4b - Separazione delle diverse frazioni di biomassa.



Fig. 5 - Visuale della serra con le due varietà e le postazioni per l'acquisizione delle immagini.

Suolo e nettare, relazioni e interazioni

I dati prodotti e raccolti durante la sperimentazione hanno evidenziato come le caratteristiche del suolo (Tab. 1) e del nettare, così come anche gli insetti impollinati, abbiano risentito della variazione dei parametri relativi alla tipologia di coltivazione. Innanzitutto, in base alla presenza di sabbia, limo e argilla, il suolo è stato classificato come "franco" e **tutti i trattamenti hanno evidenziato una variazione dei parametri rispetto allo stato originale, prima delle lavorazioni.** I trattamenti, sia quello con compost che con fertilizzante chimico, hanno evidenziato valori più elevati di C, N e potassio (K) rispetto al trattamento controllo. Solo per quanto riguarda il K il valore più basso è stato rilevato per il trattamento chimico. Per tutti i parametri, ad eccezione del P, i valori più elevati sono stati riscontrati

nel trattamento compost. Anche lo stato della pianta è stato influenzato dalla tipologia di trattamento e **il girasole trattato col compost ha evidenziato valori più elevati di clorofilla, più bassi di flavonoli e quindi un più elevato indice di bilancio d'azoto (NBI®).**

La clorofilla è spesso usata come indicatore del livello di azoto e quindi di salute della pianta. **Numerose ricerche hanno dimostrato che anche i flavonoli sono dei buoni indicatori del livello di azoto e salute della pianta.** Da una parte, quando la pianta è in condizioni ottimali, questa favorisce il metabolismo primario, sintetizzando proteine contenenti clorofilla e pochi flavonoli. Al contrario, in una situazione di stress, la pianta cambia il suo metabolismo verso la produzione di flavonoli. Pertanto, **l'indice NBI® è un**

Trattamenti	Argilla (% d.m.)	Limo (% d.m.)	Sabbia (% d.m.)	pH	C organico (% d.m.)	N (% d.m.)	Olsen P (mg/kg d.m.)	K scambiabile (mg/kg d.m.)
Prima dell'aratura	19.1±4.3	30.5±6.5	50.4±10	7.7±0.5	2.2±0.4	0.15±0.027	149±30	204±29
CON	18.7±4.2	30.1±6.5	51.2±10.1	7.8±0.5	2.3±0.42	0.18±0.033	211±40	252±35
CHIM	18.9±4.2	31±6.6	50.1±10	7.8±0.5	2.7±0.49	0.19±0.034	227±42	224±31
COMPO	20.1±4.5	29.5±6.3	50.4±10	7.7±0.5	3±0.54	0.24±0.043	226±42	306±43

Tab. 1 - Principali caratteristiche chimico-fisiche e relativa deviazione standard dei suoli analizzati. I valori dopo il simbolo ± rappresentano le deviazioni standard, cioè lo scostamento massimo dei valori ottenuti per quel determinato parametro rispetto alla media dei valori.

Campionamento 22 giugno				
Trattamento	Clorofilla	Flavonoli	Antociani	NBI®
CON	37.560±2.1	1.218±0.4	0.158±0.01	42.811±2.7
CHIM	37.005±5.7	1.360±0.2	0.163±0.01	32.824±5.5
COMPO	38.223±1.6	1.169±0.6	0.156±0.01	43.741±3.2
Campionamento 5 luglio				
Trattamento	Clorofilla	Flavonoli	Antociani	NBI®
CON	37.241±1.0	1.294±0.1	0.18±0.006	36.35±1.6
CHIM	36.454±4.1	1.288±0.19	0.18±0.01	36.35±7.8
COMPO	36.750±2.3	1.282±0.6	0.18±0.003	37.99±3.0

Tab. 2 - Risultati dei valori medi e della relativa deviazione standard del campionamento fogliare. I valori dopo il simbolo ± rappresentano le deviazioni standard, cioè lo scostamento massimo dei valori ottenuti per quel determinato parametro rispetto alla media dei valori.

ottimo indicatore dello stato di salute della pianta, in quanto esso tiene conto sia della clorofilla che dei flavonoli. Altra caratteristica che rende sicuro l'NBI® è la bassa sensibilità alle variazioni ambientali rispetto alla sola clorofilla.

Invece, i risultati della raccolta della biomassa delle parcelle hanno evidenziato una quantità molto simile nei trattamenti chimici e compost (Tab. 3), ma decisamente più elevata rispetto al trattamento controllo (Fig. 6) mentre riguardo l'umidità dei fusti, **il trattamento a base di compost ha determinato un contenuto idrico più alto evidenziando come il trattamento con il compost abbia aumentato la capacità della pianta di estrarre acqua dal suolo,** facilitato la vascolarizzazione e aumentato quindi il contenuto idrico della biomassa.

I risultati delle analisi del nettare han-



no evidenziato come il compost abbia influenzato anche la diluizione del nettare rispetto agli altri due trattamenti, sia in termini di concentrazione totale degli zuccheri, che di concentrazione dei monosaccaridi principali (glucosio e fruttosio). Anche se i valori assoluti della concentrazione sono differenti tra i trattamenti, il peso percentuale dei due monosaccaridi rispetto al totale ha

mostrato valori simile per tutti i trattamenti. Il trattamento compost ha inoltre mostrato valori più bassi di solidi solubili residui espressi in °Brix. D'altra parte, il trattamento controllo ha mostrato valori di concentrazione più elevati per quasi tutti i parametri, ad eccezione del saccarosio. I risultati del campionamento del nettare, all'interno della serra, hanno evidenziato come la varietà ibrida deno-



Fig. 6 - Evidenza delle differenze di produzione di biomassa (sx CON e dx COMPO)

Trattamento	Stelo (kg f.m.)	Umidità (%)	Infiorescenza (kg f.m.)	Umidità (%)
CON	19.97±1.76 a	75.68±4.73 a	10.57±1.02 a	78.95±0.6 a
CHIM	24.57±2.37 b	76.83±2.76 a	13.07±1.4 a	78.73±2.13 a
COMPO	24.97±4.61 b	79.12±0.62 b	12.7±3.29 a	80.13±1.83 a

Tab. 3 - Risultati della raccolta della biomassa, contenuto idrico e deviazione standard. I valori dopo il simbolo ± rappresentano le deviazioni standard, cioè lo scostamento massimo dei valori ottenuti per quel determinato parametro rispetto alla media dei valori. Le lettere differenti tra i trattamenti indicano la significatività statistica delle differenze, mentre le lettere uguali indicano l'assenza di differenze statisticamente significative.

Parametro	Trattamento		
	CON	CHIM	COMPO
Oligosaccaridi (mg/mL)	0.10±0.05	0.051±0.04	0.068±0.002
Raffinosio (mg/mL)	0.05±0.02	0.03±0.02	0.05±0.008
Saccarosio (mg/mL)	0.015±0.004	0.010±0.01	0.017±0.002
Glucosio (mg/mL)	0.54±0.13	0.34±0.20	0.21±0.019
Fruttosio (mg/mL)	0.64±0.26	0.46±0.17	0.35±0.08
Totale (mg/mL)	1.35±0.34	0.90±0.46	0.70±0.11
°Brix (%)	0.17±0.07	0.15±0.04	0.14±0.04
Media totale/Brix	8.28±1.97	5.63±1.38	5.18±0.94

Tab. 4 - Risultati dell'analisi del nettare (media dei due campionamenti). I valori dopo il simbolo ± rappresentano le deviazioni standard, cioè lo scostamento massimo dei valori ottenuti per quel determinato parametro rispetto alla media dei valori.

ti valori più elevati rispetto alla varietà rustica per ogni parametro (Tab. 5). Il nettare della varietà rustica è risultato più diluito e con la presenza di mannitolo, contrariamente alla varietà ibrida. Fruttosio e glucosio sono stati i composti maggiormente rilevati in entrambe le varietà. In ultimo, il risultato dell'analisi delle immagini registrate nella serra (Fig. 7) ha evidenziato come il numero degli impollinatori rilevati è aumentato nei primi giorni per poi diminuire, confermando che il numero degli insetti ha seguito il procedere della fioritura. Il grafico riporta come il numero degli insetti fotografati sui capolini fiorali della

varietà rustica (arancione) è stato notevolmente superiore rispetto alla varietà ibrida (blu), nonostante la tendenza sia stata molto simile. Analizzando i risultati delle immagini con le analisi del nettare eseguite sui fiori all'interno della serra, si può quindi dedurre che gli insetti impollinatori si sono maggiormente diretti verso il nettare più diluito e con più composti (Tab. 5). Tale conclusione non tiene però conto delle diversità morfologiche dei fiori, di tonalità di colore o di altri aspetti delle due varietà che non sono stati considerati dalla sperimentazione e che tuttavia potrebbero aver influenzato il risultato.

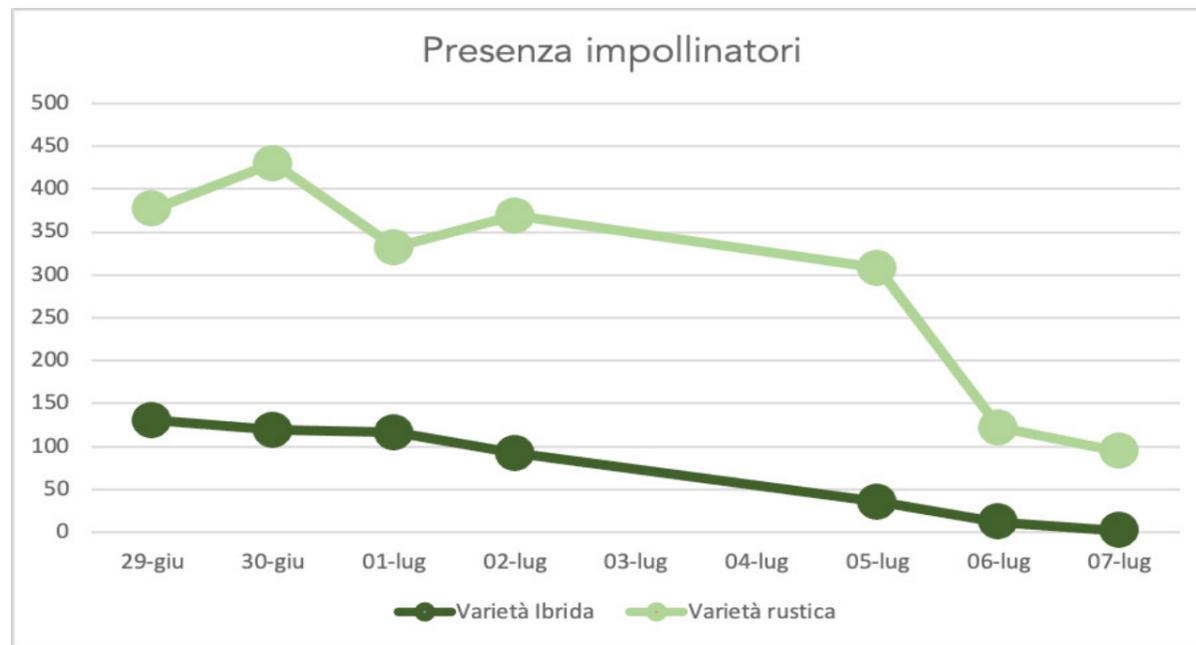


Fig. 7 - Grafico delle presenze degli insetti sui capolini fiorali.

Parametri	Trattamenti	
	Varietà ibrida	Varietà rustica
Oligosaccaridi (mg/mL)	0.10±0.083	0.05±0.029
Raffinosio (mg/mL)	0.06±0.052	0.02±0.019
Saccarosio (mg/mL)	0.025±0.015	0.015±0.009
Glucosio (mg/mL)	0.30±0.284	0.12±0.093
Fruttosio (mg/mL)	0.38±0.226	0.23±0.102
Mannitolo (mg/mL)	/	0.08±0.095
Totale (mg/mL)	0.88±0.660	0.54±0.148
°Brix (%)	0.14±0.070	0.1±0.02
Media totale/Brix	5.38±2.31	5.37±0.44

Tab. 5 - Risultati del campionamento del nettare all'interno della serra (media dei due campionamenti). I valori dopo il simbolo ± rappresentano le deviazioni standard, cioè lo scostamento massimo dei valori ottenuti per quel determinato parametro rispetto alla media dei valori.

Loop microbiologico e raccomandazioni per il futuro

Lo studio ha fatto emergere come il trattamento con il compost abbia favorito la crescita di piante più umide e maggiormente vascolarizzate, anche in condizioni non irrigue. I campionamenti fogliari hanno confermato il buono stato vegetativo, facendo riscontrare livelli più elevati di indice NBI®. Il nettare si è riscontrato, invece, essere maggiormente diluito. L'analisi del suolo ha confermato l'efficacia del compost, mostrando incrementi maggiori di carbonio organico, azoto e potassio.

Si può quindi concludere come sia evidente il ruolo e la responsabilità del

compost nella variazione delle proprietà del suolo, fisiologia della pianta e nettare prodotto.

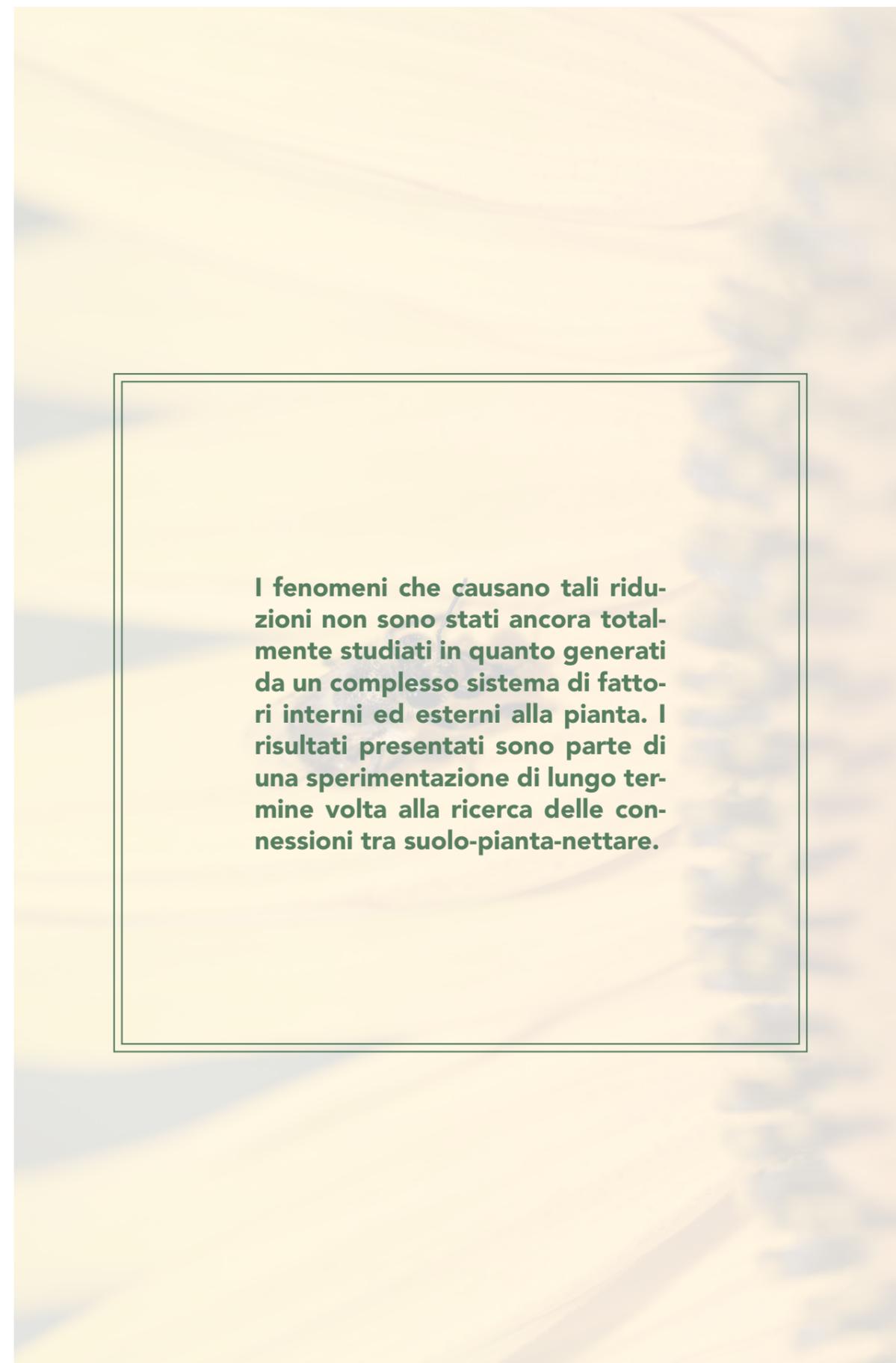
La prova in serra ha invece confermato come la varietà di girasole influenzi il numero di insetti impollinatori, evidenziando un numero maggiore per quella rustica, caratterizzata da un nettare più diluito e ricco in mannitolo, e apparentemente più desiderabile per gli insetti. Tutto ciò sottolinea il fatto che gli insetti impollinatori eseguono una scelta nel selezionare la fonte di nettare, in questo caso fatta nella direzione di nettare più diluito e con più composti.



Conclusioni

Dunque si può concludere che la produzione del nettare sia parte di un sistema complesso dove, oltre alle componenti climatiche, sono in gioco un insieme di fattori coinvolti nel *loop* microbiologico suolo-piante-nettare-insetti. È inevitabile dedurre come il complesso *loop* si generi a partire da una risorsa suolo di qualità, e come il compost possa ritenersi uno strumento adeguato alla sua sal-

vanguardia e miglioramento, senza tener conto degli ulteriori aspetti economici della sua produzione e utilizzo. Queste evidenze aprono le strade a possibili future strategie utili a combattere la riduzione dei flussi nettariiferi, che non è solo un problema a carico del settore apistico e quindi per le produzioni di miele ma è una difficoltà per tutti gli insetti pronubi e per l'impollinazione delle piante



I fenomeni che causano tali riduzioni non sono stati ancora totalmente studiati in quanto generati da un complesso sistema di fattori interni ed esterni alla pianta. I risultati presentati sono parte di una sperimentazione di lungo termine volta alla ricerca delle connessioni tra suolo-piante-nettare.

BIBLIOGRAFIA

1. ISTAT (2020). http://dati.istat.it/Index.aspx?DataSetCode=DC-SP_COLTIVAZIONI
2. Poonia, R., Chaudhary, O.P. (2020). Unraveling the mystery of non extraction of honey from modern sunflower hybrids. *J. Apic. Res.*
3. Chambó, E.D., Garcia, R.C., Oliveira, N.T., Duarte-Júnior, J.B. (2011). Honey bee visitation to sunflower: effects on pollination and plant genotype. *Scientia Agricola* 68:647-651.
4. Chabert, S., Sénéchal, C., Fougereux, A., Pousse, J., Richard, F., Nozières, E., Geist, O., Guillemard, V., Leylavergne, S., Malard, C., Benoist, A., Carré, G., Caumes, E., Cenier, C., Treil, A., Danfous, S., Vaissière, B.E. (2020). Effect of environmental conditions and genotype on nectar secretion in sunflower (*Helianthus annuus* L.). *OCL* 27 (51)
5. Descamps, C., Boubnan, N., Jacquemart, A.L., Quinet, M. (2021), Growing and Flowering in a Changing Climate: Effects of Higher Temperatures and Drought Stress on the Bee-Pollinated Species *Impatiens glandulifera* Royle. *Plants* 10, 988.
6. Clearwater, M.J., Revell, M., Noe, S., Manley-Harris, M. (2018). Influence of genotype, floral stage, and water stress on floral nectar yield and composition of manuka (*Leptospermum scoparium*), *Annals of Botany* 121(3): 501–512.
7. ISO 18134-2:2017 Solid biofuels — Determination of moisture content — Oven dry method — Part 2: Total moisture — Simplified method



ASCOLTA I NOSTRI PODCAST



Pillole di scienza dell'agrifood

News in tavola: le 7 notizie dall'agroalimentare



SOUTH AGRO

Il mare che nutre la terra



Dal 2017 South Agro si occupa dello sviluppo di prodotti per la cura delle piante e formulazione conto terzi. La nostra mission è la valorizzazione di biomolecole di origine vegetale ed in particolare di provenienza marina con un focus sulle macro alghe. Nell'ottica di migliorare i propri prodotti, South Agro ha sviluppato un proprio metodo di coltivazione di alghe verdi e rosse del Mediterraneo e un suo processo produttivo di formulati ad attività biostimolante e fertilizzante per la nutrizione e la cura dei vegetali.

Quali vantaggi offre l'utilizzo di biostimolanti di matrice algale all'agricoltura? E quali sono le principali differenze rispetto all'uso di prodotti tradizionali?

Partiamo dal presupposto che le alghe marine sono presenti da milioni di anni nei nostri mari, tuttavia il loro sfruttamento come materia prima è ancora agli albori, nonostante il loro alto potenziale. Tra le diverse tipologie di biostimolanti presenti sul mercato, indubbiamente quelli ottenuti da estratti algali sono tra i più conosciuti e impiegati. Infatti, dal punto di vista chimico e nutrizionale, l'impiego di matrici algali per la produzione di fertilizzanti e biostimolanti permette di ottenere prodotti vantaggiosi per il trattamento delle piante poiché ricchi in sostanze come fitormoni (auxine, citochinine), polifenoli, polisaccaridi e micronutrienti. Tutte queste sostanze sono in grado di agire sulla pianta migliorando parametri come la velocità di germinazione, lo sviluppo radicale, la resistenza agli stress abiotici e biotici e l'assorbimento di macro e micronutrienti dal suolo. Per quanto riguarda il confronto con l'impiego dei prodotti tradizionali, questi ultimi non è sempre detto che siano sostenibili mentre le alghe marine non consumano suolo né acqua potabile e sono un valido aiuto per la riduzione di prodotti di origine sintetica

in agricoltura. Non solo, la strategia del **Green New Deal** europeo le descrive anche come una soluzione valida per la fitodepurazione di acque reflue e come fonti proteiche alternative, oltre che come materia prima per la produzione di biostimolanti.



Da dove proviene la materia prima che utilizzate per la messa a punto dei vostri prodotti? Quali sono le sue peculiarità che la rendono adatta questo utilizzo?



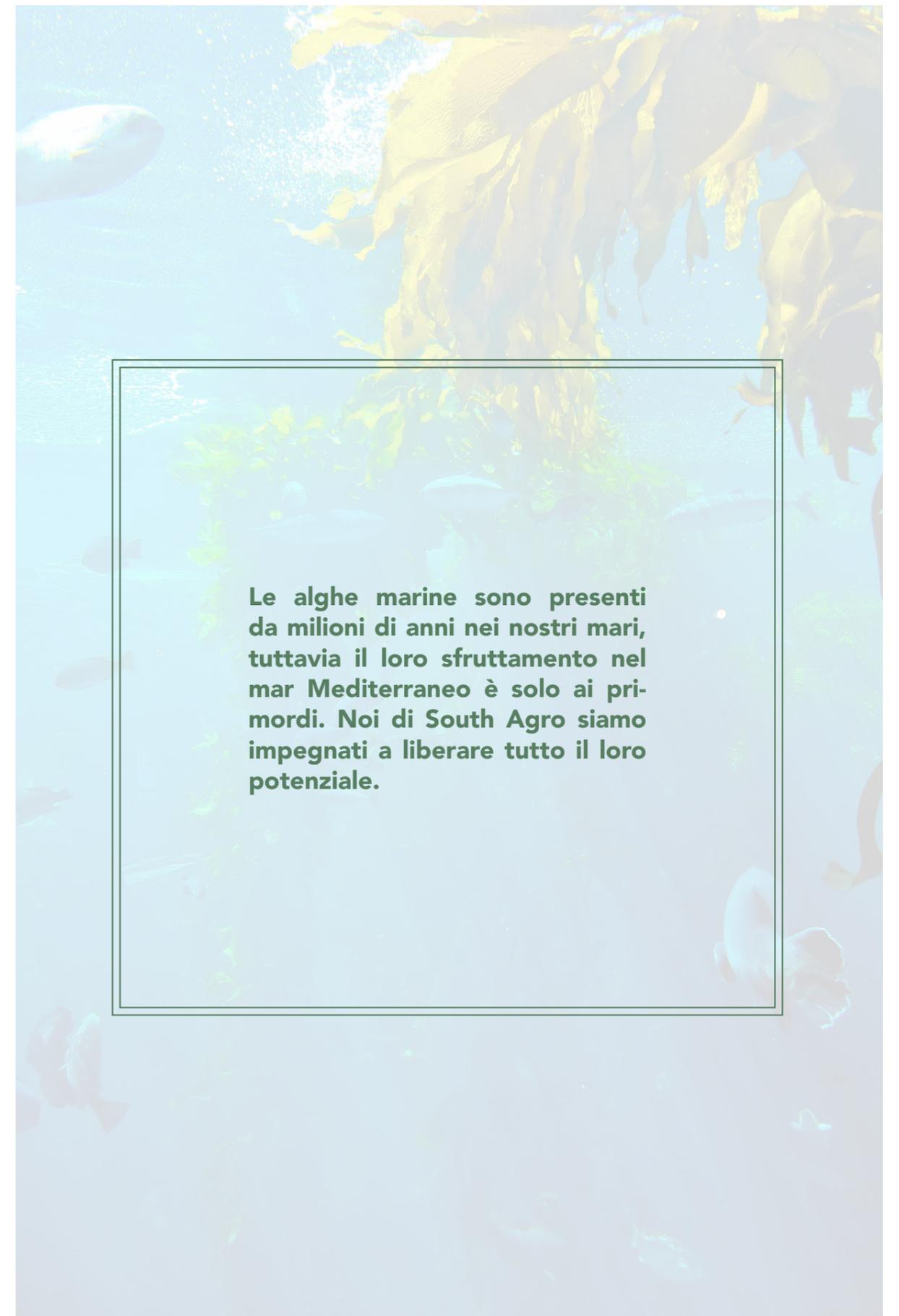
La scelta di adoperare alghe marine per lo sviluppo dei nostri prodotti è stata dettata dalla curiosità per una materia prima ancora poco esplorata e sfruttata nelle sue potenzialità. Tuttavia le nostre

ricerche hanno evidenziato come questa tipologia di materia prima offra diversi vantaggi rispetto alle microalghe, tra cui una maggiore semplicità degli impianti di coltivazione e una maggiore semplicità di raccolta e trasformazione. A questo si aggiunge la possibilità di sfruttare molteplici composti chimici diversi in base alle necessità. Il mercato dei biostimolanti algali si basa sull'impiego di quattro tipologie di alghe: *Ascophyllum nodosum*, *Ecklonia maxima*, *Laminaria digitata* e *Macrocystis sp.* Dal momento che la specie è uno dei parametri da cui dipende la diversità del prodotto, SouthAgro ne utilizza sei, in modo che l'agricoltore possa sfruttarne tutte le peculiarità. Oltre la specie, altri fattori che influenzano la presenza e il quantitativo di sostanze attive e di regolatori della crescita all'interno dei biostimolanti sono la fase di crescita e la stagione in cui viene raccolta l'alga, i processi di produzione e quelli di estrazione, questi ultimi sono il nostro punto di forza e ci permettono di sfruttare tutta la ricchezza del mare. Infatti le nostre alghe provengono un po' da tutto il mondo, anche dai pescatori del tarantino.

Qual è l'aspetto più innovativo che contraddistingue la vostra azienda e il vostro prodotto?

Ciò che ci differenzia all'interno del mercato è sicuramente la capacità di sviluppare un prodotto su misura, intercettando le esigenze specifiche dei nostri clienti. Ci rivolgiamo ad aziende che a loro volta commercializzano fertilizzanti e biostimolanti e decidono di inserire all'interno del loro portfolio un prodotto a base di alghe marine che possa avere effetti specifici sulle coltivazioni. Quello dei fertilizzanti e dei biostimolanti è quello che si dice un mercato conservativo, nel momento in cui l'utilizzatore finale, e dunque l'agricoltore, avrà testato il prodotto e si ritiene soddisfatto dei

sui risultati, difficilmente sarà disposto a cambiarlo. La possibilità di ottenere prodotti su misura ce la dà la nostra tecnologia di estrazione brevettata che, a grandi linee, prevede la distruzione della struttura e delle pareti vegetali per il recupero di sostanze diverse. Ad esempio i polisaccaridi di alcune alghe verdi hanno effetti importanti nell'induzione della resistenza delle piante ad alcuni agenti patogeni. Il nostro *know-how* ci ha permesso di ideare un catalogo di 12-13 prodotti che coprono le diverse fasi fenologiche delle piante e le principali colture.



Le alghe marine sono presenti da milioni di anni nei nostri mari, tuttavia il loro sfruttamento nel mar Mediterraneo è solo ai primordi. Noi di South Agro siamo impegnati a liberare tutto il loro potenziale.



GLI AUTORI



Nicola Nicastro

Assegnista di Ricerca presso il Consiglio per la Ricerca in Agricoltura e l'Analisi dell'Economia Agraria, Centro di Ricerca Orticoltura e Florovivaismo di Pontecagnano dove si occupa dello sviluppo e implementazione di metodi innovativi di coltivazione e difesa sostenibile in ortoflorovivaismo seguendo approcci digitali, biologici e agroecologici.



Catello Pane

Ricercatore presso il Consiglio per la Ricerca in Agricoltura e l'Analisi dell'Economia Agraria, Centro di Ricerca Orticoltura e Florovivaismo di Pontecagnano dove si occupa dello sviluppo e implementazione di metodi innovativi di coltivazione e difesa sostenibile in ortoflorovivaismo seguendo approcci digitali, biologici e agroecologici.

COLTURE CONTROLLATE GRAZIE ALL'*IMAGING* IPERSPETTRALE

L'*imaging iperspettrale* è una tecnologia che permette il monitoraggio delle colture in maniera costante e continua anche su grandi estensioni, fornendo delle informazioni circa lo stato vegetazionale e fitosanitario delle piante in tempo reale. Tutto questo è possibile grazie all'utilizzo di alcuni sensori ottici, in grado di esaminare una parte dello spettro elettromagnetico non visibile all'occhio umano, e di tecniche molto avanzate di elaborazione di immagini.

Le tecnologie digitali al servizio dell'agricoltura moderna

L'agricoltura, anche alla luce dei cambiamenti climatici e della riduzione della fertilità dei suoli, e della rinnovata attenzione dei consumatori verso tecniche di coltivazioni sostenibili che prevedono la riduzione o l'eliminazione totale di sostanze di sintesi chimica, è chiamata ad affrontare sfide sempre più impegnative per garantire comunque il soddisfacimento dei fabbisogni alimentari e di consumo della crescente popolazione mondiale.

Dall'altra parte, le tecniche di coltivazione intensiva, caratterizzate da cicli continui e ripetuti, elevate densità di semina e/o investimento e condizioni microcli-

matiche predisponenti, rendono le colture estremamente suscettibili all'attacco da parte di patogeni fungini, tra cui i più temuti e dannosi albergano nel suolo e sono pertanto definiti **soil-borne** [1]. La loro presenza e azione determina gravi perdite in termini di produzione e di qualità delle produzioni accentuando le problematiche inerenti alla sostenibilità delle pratiche agricole.

Nelle diverse strategie di protezione delle piante, un ruolo importante è rivestito dalla fase di monitoraggio della presenza di sintomi legati a eventi patologici. Il monitoraggio costante e continuo delle coltivazioni è cruciale per gui-

Consiglio per la Ricerca in Agricoltura e l'Analisi dell'Economia Agraria, Centro di Ricerca Orticoltura e Florovivaismo, via Cavalleggeri, 25 – 84098 Pontecagnano Faiano (Salerno). Ricerca nei settori del miglioramento genetico, valorizzazione della biodiversità, innovazione agronomica e difesa ecocompatibile di specie coltivate in pieno campo e sotto serra, orticole, aromatiche, floricole e ornamentali, per l'arredo urbano e delle produzioni vivaistiche.



dare gli interventi di difesa in maniera tempestiva, per esempio al verificarsi dei primi attacchi, e mirata nello spazio, riducendo la numerosità dei trattamenti e ottimizzando l'uso dei fungicidi soprattutto in fase precoce con l'obiettivo della massima limitazione del danno e minimo consumo della risorsa. Su questo piano, **le nuove tecnologie, tra cui**

quelle digitali, sembrano offrire delle soluzioni potenzialmente di facile applicazione e in grado di economizzare alcuni processi, permettendo un monitoraggio in tempo reale anche di grandi superfici, restituendo un *panel* di informazioni più ampio di quelle rilevabili dall'ispezione visiva, in grado di supportare il processo decisionale dell'operatore.

Il monitoraggio assiduo delle colture come soluzione contro i patogeni *soil-borne*



Sono definiti funghi *soil-borne* quei patogeni che compiono almeno parte del loro ciclo vitale nel suolo [2]. Al verificarsi delle condizioni climatiche favorevoli, essi infettano la pianta, la colonizzano e poi lasciano l'ospite attraverso la sporulazione o altri meccanismi di propagazione, immettendo nel suolo quantità di inoculo in grado di ricominciare il ciclo

in nuovo ospite con nuove infezioni. **Alla categoria dei *soil-borne* appartengono numerose specie fungine che sono responsabili di una sintomatologia piuttosto diversificata tra le diverse specie orticole e floricole** che può andare dal marciume dell'organo attaccato (radice, colletto, fusto), causato principalmente da: *Rhizoctonia solani*, *Sclerotinia sclerotiorum* e *Sclerotium rolfsii*, *Phytophthora spp.*, *Verticillium dahliae*, a fenomeni di *dumping-off* causati dall'agente patogeno *Pythium* [3], all'avvizzimento e ingiallimento causati dai *Fusarium oxysporum*. **Tali patogeni sono in grado di causare danni anche molto ingenti nei sistemi intensivi** come, per esempio, quelli delle referenze destinate al consumo fresco come gli **ortaggi di IV gamma**. Il contrasto al loro proliferare passa soprattutto per la lotta attraverso sostanze di sintesi chimica; tuttavia, si è visto che anche pratiche colturali come la riduzione delle lavorazioni [2], la gestione delle irrigazioni, l'uso di compost soppressivi, l'uso di agenti di **biocontrollo** come i *Trichoderma spp.* che svolgono una funzione antagonista, hanno una certa efficacia nel contenimento dello sviluppo delle infezioni causate da questi funghi. **Il monitoraggio assiduo delle colture può essere supportato dalle nuove tecnologie, in particolare l'imaging iperspettrale.**

Che cos'è l'imaging iperspettrale?

Questa tecnica si basa sull'acquisizione di informazioni di **riflettanza**, intesa come il rapporto tra la luce riflessa e la luce incidente su una determinata superficie, che nel nostro caso può essere la copertura vegetale colpita dalla luce diretta del sole. Tale luce si muove nella forma di spettro elettromagnetico: onde con diverse lunghezze. Si hanno, per esempio, lunghezze d'onda nel campo del visibile (VIS, range 400-700 nm) e altre nel vicino infrarosso (NIR, range 700-1300 nm). **Tali informazioni possono essere acquisite mediante dei sensori ottici specifici, detti camere iperspettrali.** In pratica, la luce colpisce la vegetazione: parte di essa viene assorbita dalle foglie in quanto indispensabile per lo svolgimento dei normali processi vitali come la fotosintesi clorofilliana, mentre la rimanente parte che non viene assorbita, viene riflessa. Tale frazione riflessa rapportata all'energia luminosa



del sole, si chiama riflettanza. L'*imaging iperspettrale* è una tecnologia digitale che si occupa di elaborare particolari tipologie di immagini, dette **immagini iperspettrali**. Esse sono composte da un **certo numero di pixel** (unità minima dell'immagine) a seconda della risoluzione spaziale della camera di acquisizione. Ad ogni pixel sono associati i valori di riflettanza dell'intero spettro preso in considerazione dallo strumento di acquisizione. Pertanto, un'immagine iperspettrale può essere immaginata come una sovrapposizione di più strati dello stesso oggetto osservato, definito *layer*, che riporta le informazioni di riflettanza per una singola lunghezza d'onda. In pratica, se vengono prese in considerazione 100 lunghezze d'onda, la nostra immagine sarà composta da 100 *layer* sovrapposti, e l'intervallo che intercorre tra una lunghezza d'onda presa in considerazione e la successiva viene definita risoluzione spettrale della camera. **Siccome la luce assorbita dalla foglia è strettamente correlata ad alcune proprietà, come il contenuto di clorofilla, antociani, carotenoidi, acqua, etc., i cambiamenti nella riflettanza possono essere associati a variazioni delle caratteristiche della vegetazione,** come per esempio, variazioni collegate a fasi di stress (es. ingiallimenti, necrosi, etc.) o fasi vegetazionali (variazione di colore delle foglie, etc.). Inoltre, data la capacità di analizzare l'energia luminosa riflessa anche nel campo del vicino infrarosso, permette di rilevare informazioni

non visibili all'occhio umano, ampliando la capacità di monitoraggio. Pertanto, questa tecnologia permette di identificare, in maniera non distruttiva ed in tempo reale, eventuali cambiamenti nella risposta iperspettrale della pianta associabili a particolari proprietà chimiche, biologiche e fisiologiche che possono modificarsi all'interno delle piante, a causa dell'azione di agenti di stress esterni, sia di natura abiotica (siccità) che di natura biotica come, ad esempio, l'attacco da parte di patogeni [4].

La peculiarità di questa tecnica di elaborazione è la capacità di analizzare tutti i valori di riflettanza che compongono la firma spettrale di una pianta o parte di essa, permettendoci di effettuare un'indagine spaziale comparando le diverse informazioni spettrali al fine di individuare delle caratteristiche identificative di anomalie (malattie), a differenza di altre tipologie di tecniche che compiono delle analisi puntuali. In fase di studio, questa tecnica consente di mettere a confronto le caratteristiche spettrali di piante sane e piante infette, permettendoci di studiare l'evoluzione della risposta spettrale nel tempo e quindi di valutare la correlazione tra riflettanza nelle diverse regioni dello spettro e alcuni parametri delle colture come: stato vegetativo, contenuto idrico e stato fitosanitario, contenuto di clorofilla, antocianine e carotenoidi. Inoltre, questi valori di riflettanza alle diverse lunghezze d'onda possono essere combinati tra loro mediante formule matematiche al fine di ottenere i cosiddetti **indici vegetazionali**, che si comportano come indicatori sintetici per un dato parametro, per esempio stato fitosanitario [5]. Quindi, gli indici vegetazionali sono dei valo-

ri unici che forniscono un'informazione di facile interpretazione dando un'idea immediata di quello che è lo stato reale della coltura. **Ulteriori studi, stanno impiegando le informazioni estratte da queste immagini in algoritmi matematici di machine learning [6, 7, 8], al fine di condurre delle operazioni di classificazione avanzata circa la discriminazione della tipologia di stress, la tipologia di patogeno, la severità dell'infezione e la diagnosi precoce delle malattie [6].**



Le tecnologie digitali al servizio dell'agricoltura moderna

Il monitoraggio delle colture può rappresentare una operazione dispendiosa in termini economici e di tempo, in quanto prevede l'impiego di personale specializzato per tempi più o meno lunghi, a seconda dell'estensione della coltura da monitorare. L'importanza di questa operazione risiede nel fatto che risulta essere una pratica indispensabile per poter effettuare una corretta ed efficace gestione fitosanitaria. **Spesso il monitoraggio di grandi estensioni è difficoltoso ed oneroso soprattutto in termini di tempo**, fattore molto importante quando si ha a che fare con patologie fungine *soil-borne*, che in presenza di condizioni ambientali favorevoli mostra-

no sviluppi molto rapidi, causando danni irreparabili per la produzione.

L'imaging iperspettrale mostra buone potenzialità per il monitoraggio continuo delle colture; infatti, numerosi studi hanno dimostrato l'efficacia di questa tecnica nel diagnosticare attacchi da parte di patogeni soil-borne [9, 10]. Riuscendo a rilevare i cambiamenti che avvengono all'interno delle colture in tempo reale ed essendo suscettibili anche alle minime variazioni, questa tecnica permette di valutare anche l'efficacia di alcuni trattamenti biologici eseguiti con microrganismi utili quali il *Trichoderma sp.*, favorendo, quindi, l'impiego di questi agenti nella lotta ai *soil-borne* [11].

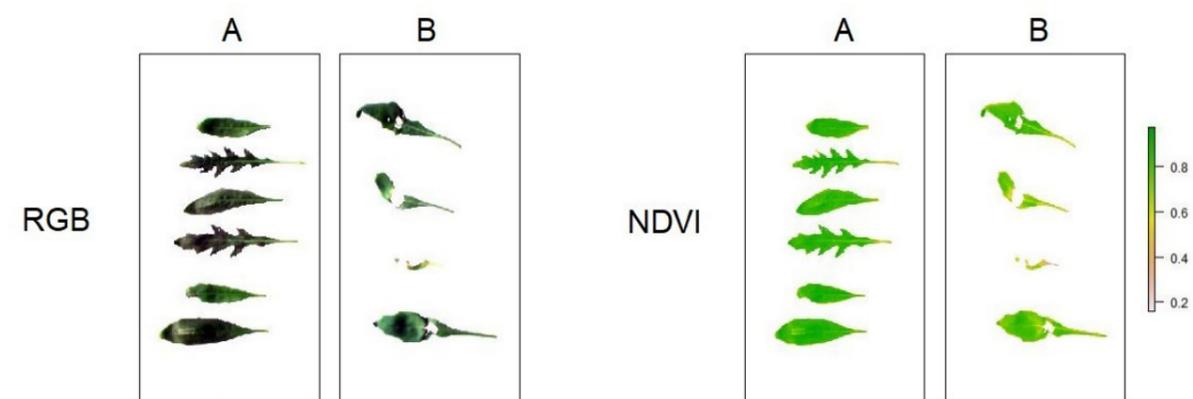
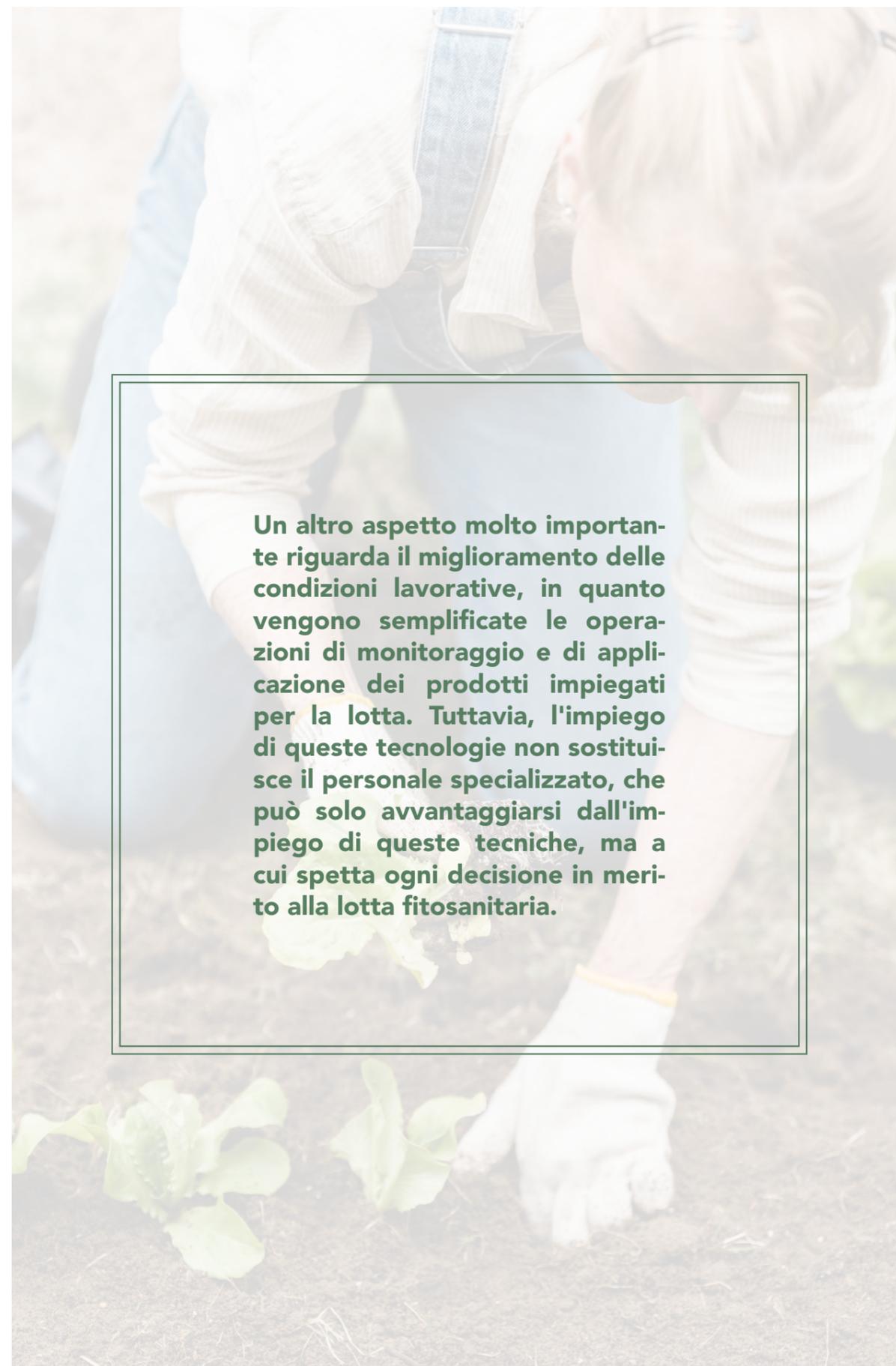


Fig. 1 – Confronto tra immagine RGB e NDVI di foglie di rucole sane (A) e inoculate con *Rhizoctonia solani* (B).

Conclusioni

Alla luce di quanto esposto, è possibile dedurre che l'*imaging* iperspettrale applicato all'agricoltura è potenzialmente in grado di apportare numerosi vantaggi nel monitoraggio delle colture sia per la mappatura che per l'individuazione precoce degli stati di stress, permettendo una migliore gestione fitosanitaria anche aumentando

l'efficacia e l'impiego ottimale degli strumenti a disposizione. Tutto questo permette non solo di ridurre l'uso di **fitofarmaci di sintesi chimica**, ma favorisce anche l'impiego di altre **so- stanze biologiche** che presentano tempi di azione più lunghi, nell'ottica di un aumento della sostenibilità ambientale dell'agricoltura.



Un altro aspetto molto importante riguarda il miglioramento delle condizioni lavorative, in quanto vengono semplificate le operazioni di monitoraggio e di applicazione dei prodotti impiegati per la lotta. Tuttavia, l'impiego di queste tecnologie non sostituisce il personale specializzato, che può solo avvantaggiarsi dall'impiego di queste tecniche, ma a cui spetta ogni decisione in merito alla lotta fitosanitaria.

BIBLIOGRAFIA

1. Gullino M. L., Gilardi G., Garibaldi A. (2019). Ready-to-eat salad crops: a plant pathogen's heaven. *Plant Dis.* 103:9. 10.1094/PDIS-03-19-0472-FE.
2. Bockus, W. W., & Shroyer, J. P. (1998). The impact of reduced tillage on soilborne plant pathogens. *Annual review of phytopathology*, 36(1), 485-500.
3. Manganiello, G., & Pane, C. (2021). First report of *Globisporangium ultimum* causing damping-off of wild rocket seedlings. *Journal of Plant Pathology*, 103(2), 721-721.
4. Thomas S., Kuska M. T., Bohnenkamp D., Brugger A., Alisaac E., Wahabzada M., et al. . (2018). Benefits of hyperspectral imaging for plant disease detection and plant protection: a technical perspective. *J. Plant Dis. Protect.* 125, 5–20. 10.1007/s41348-017-0124-6.
5. Thenkabail P. S., Smith R. B., De Pauw E. (2000). Hyperspectral vegetation indices and their relationships with agricultural crop characteristics. *Rem. Sens. Environ.* 71, 158–182. 10.1016/S0034-4257(99)00067-X.
6. Pane, C., Manganiello, G., Nicastro, N., & Carotenuto, F. (2021). Early detection of wild rocket tracheofusariosis using hyperspectral image-based machine learning. *Remote Sensing*, 14(1), 84.
7. Navarro, A., Nicastro, N., Costa, C., Pentangelo, A., Cardarelli, M., Ortenzi, L., ... & Pane, C. (2022). Sorting biotic and abiotic stresses on wild rocket by leaf-image hyperspectral data mining with an artificial intelligence model. *Plant methods*, 18(1), 1-14.
8. Pane, C., Manganiello, G., Nicastro, N., Ortenzi, L., Pallottino, F., Cardi, T., & Costa, C. (2021). Machine learning applied to canopy hyperspectral image data to support biological control of soil-borne fungal diseases in baby leaf vegetables. *Biological Control*, 164, 104784.
9. Barreto, A., Paulus, S., Varrelmann, M., & Mahlein, A. K. (2020). Hyperspectral imaging of symptoms induced by *Rhizoctonia solani* in sugar beet: Comparison of input data and different machine learning algorithms. *Journal of Plant Diseases and Protection*, 127(4), 441-451.
10. Galieni, A., Nicastro, N., Pentangelo, A., Platani, C., Cardi, T., & Pane, C. (2022). Surveying soil-borne disease development on wild rocket salad crop by proximal sensing based on high-resolution hyperspectral features. *Scientific reports*, 12(1), 1-15.
11. Manganiello, G., Nicastro, N., Caputo, M., Zaccardelli, M., Cardi, T., & Pane, C. (2021). Functional hyperspectral imaging by high-related vegetation indices to track the wide-spectrum *Trichoderma* biocontrol activity against soil-borne diseases of baby-leaf vegetables. *Frontiers in Plant Science*, 12.

PARTE DUE

AGRICOLTURA 4.0: L'UTILIZZO DELLA TECNOLOGIA PER L'INNOVAZIONE AGRICOLA



LE AUTRICI



Maria Elena Latino

PhD in Ingegneria dei Sistemi Complessi, è ricercatrice (RTDa) presso il Dipartimento di Ingegneria dell'Innovazione dell'Università del Salento. La sua attività di ricerca si focalizza su processi, metodologie e tecnologie di digitalizzazione nel settore agroalimentare.



Marta Menegoli

Laureata in ingegneria gestionale e della sicurezza, è assegnista di ricerca presso il Dipartimento di Ingegneria dell'Innovazione dell'Università del Salento. La sua attività di ricerca si focalizza sull'analisi di metodologie e tecnologie per il settore agroalimentare.

STRUMENTI IT PER IL MONITORAGGIO DEI PATOGENI IN AGRICOLTURA: IL CASO XYLELLA FASTIDIOSA NELL'ULIVO

Da alcuni anni la *Xylella fastidiosa* colpisce le specie arboree della macchia mediterranea, con particolare riferimento agli ulivi del sud Italia. Tale infezione genera un disseccamento rapido della pianta dell'ulivo portando a danni economici e paesaggistici. Il settore della ricerca e dello sviluppo occupa un ruolo importante nel fronteggiare questa grande sfida, non solo studiando il batterio che causa tale infezione, ma anche ideando soluzioni IT innovative in grado di supportare le aziende agricole e i *policy maker* nei processi di diagnosi, monitoraggio e previsione della diffusione dell'infezione.

Il caso *Xylella fastidiosa*

Le specie patogene invasive di interesse agrario provocano ogni anno, a livello mondiale, danni economici che risultano essere circa dieci volte superiori a quelli provocati da calamità naturali [1]. Se pensiamo che questo numero è destinato ad aumentare a causa del riscaldamento globale, possiamo renderci conto della potenza del fenomeno e del rischio economico e territoriale ad esso correlato. L'infezione da *Xylella fastidiosa* (Xf) colpisce da alcuni anni gli ulivi del sud Italia [3]. La malattia sull'ulivo inizia a manifestarsi con necrosi marginali o apicali delle foglie. Tali necrosi tendono ad allargarsi nel tempo interessando l'intero piatto fogliare provocando il disseccamento localizzato dei rami. Di stagione in stagione lo sviluppo della pianta rallenta, i germogli e i rami crescono con scarso vigore e gli ulivi ap-

passiscono rapidamente [4] (Fig. 1). La malattia dell'ulivo osservata nel sud della Puglia, è stata denominata "Complesso del Disseccamento Rapido dell'Ulivo", per cui è stato coniato l'acronimo **CoDiRO**. La ricerca scientifica fino a oggi ha lavorato per trovare soluzioni pratiche per contrastare la diffusione e sintomi di queste infezioni. In un'ottica di prevenzione, è necessario concentrare gli sforzi della ricerca nelle aree ulivicole dove il batterio non è ancora presente, facendo leva su approcci metodologici sistematici attraverso cui monitorare il batterio e i suoi vettori. Le azioni di prevenzione e di previsione, insieme alla progettazione di sistemi di monitoraggio sostenibili [5], rappresentano le azioni chiave attraverso cui evitare che un processo infettivo di natura invasiva si traduca in un'emergenza fitosanitaria [2].

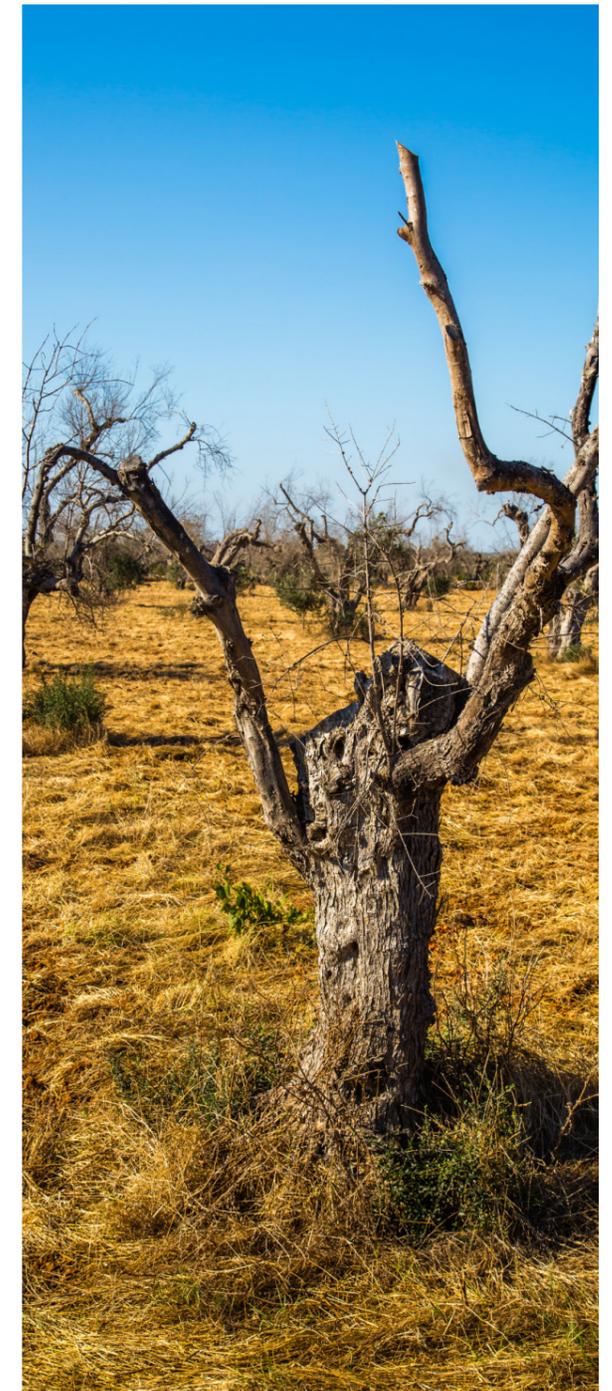


Fig. 1 - Albero di ulivo affetto da Xf.

Organismi nocivi di origine tropicale rappresentano vere e proprie emergenze fitosanitarie che stanno mettendo in ginocchio il settore agricolo e la produzione agroalimentare.

In questo contesto nasce la possibilità di monitorare lo stato di alcuni parametri vegetali della pianta (xilema) e le condizioni geografiche (climatico-ambientali, territoriali-gestionali) in cui la stessa vive. Tali parametri, singolarmente o combinati tra di loro, possono caratterizzare, innescare, promuovere o accelerare le infezioni dovute a Xf e i successivi sintomi di disseccamento. Pertanto, mappare tali parametri e comprenderne l'evoluzione risulta una strategia utile ad anticipare il rischio di disseccamento dell'ulivo. La possibilità di collezionare tali dati mediante sensoristica di campo ed esplorarli attraverso piattaforme IT risulta uno scenario di estremo e potenziale valore per diversi *stakeholders* come ad esempio agricoltori; *policy makers*; ricercatori; biologi; cittadini [6]. Queste figure, che, per ragioni differenti, possono portare interesse verso le coltivazioni di ulivo, possono beneficiare delle informazioni derivanti dal monitoraggio.

La diversità di ruoli, competenze e scopi degli *stakeholder* coinvolti richiede però la progettazione e sviluppo di soluzioni *user friendly*, capaci di amplificare la *user experience* e offrire a ciascun profilo coinvolto la possibilità di trarre il massimo dalle performance del sistema tecnologico.



Soluzioni IT per il monitoraggio del patogeno Xf

Custodendo le linee guida descritte pocanzi, l'innovazione tecnologica permette l'utilizzo di sistemi di diagnosi per il monitoraggio del patogeno Xf, in grado di monitorare lo stato dello xilema vegetale della pianta d'ulivo e le condizioni climatico-ambientali e territoriali-gestionali in cui si trova la pianta [7]. **Questi sistemi rappresentano degli strumenti di supporto alle decisioni** e sono in grado di combinare vari parametri con lo scopo di fornire informazioni utili alla messa a punto di tecniche di prevenzione o guarigione. L'utente finale del sistema può effettuare una **consultazione spaziale e temporale dei parametri attraverso l'utilizzo di piattaforme IT** basate su mappe tematiche interattive capaci di rappresentare lo stato di salute di un campo monitorato. **Una mappa tematica è una mappa progettata per dimostrare particolari caratteristiche o concetti relativi a un tema specifico o a un'area tematica** [8]. Le funzionalità di interazione aggiungono vantaggio alle mappe tematiche, poiché i valori possono essere attivati o disattivati dall'utente secondo i suoi interessi e motivazioni [9]. Le mappe vengono alimentate dai dati provenienti dai sensori installati in campo. Gli utenti possono interrogare diverse finestre e aggregazioni temporali usufruendo di un dato storico che va dal giorno di installazione del sensore in campo al giorno prima dell'interrogazione. Per aumentare il grado di leggibilità

della mappa tematica si può utilizzare un'**orto-fotografia**, cioè un'immagine satellitare ad alta precisione del campo di ulivi, che consente agli utenti di identificare facilmente gli alberi di riferimento. Si riportano di seguito, a titolo di esempio, tre mappe interattive, dedicate al monitoraggio di un parametro indicante lo stato di salute dell'ulivo: **Plant Sap Flow Density** [10], **Normalized Difference Vegetation Index** (NDVI) e **Vapor Pressure Deficit** (VPD). **L'utilizzo combinato delle mappe consente all'utente di ottenere informazioni sul livello di diffusione del contagio da Xf, sulla presenza di piante infette (verificate o sospette) e sulla vulnerabilità del campo**, indicante la predisposizione di una pianta sana ad infettarsi.



Mapa 1: Sap Flow Density della pianta

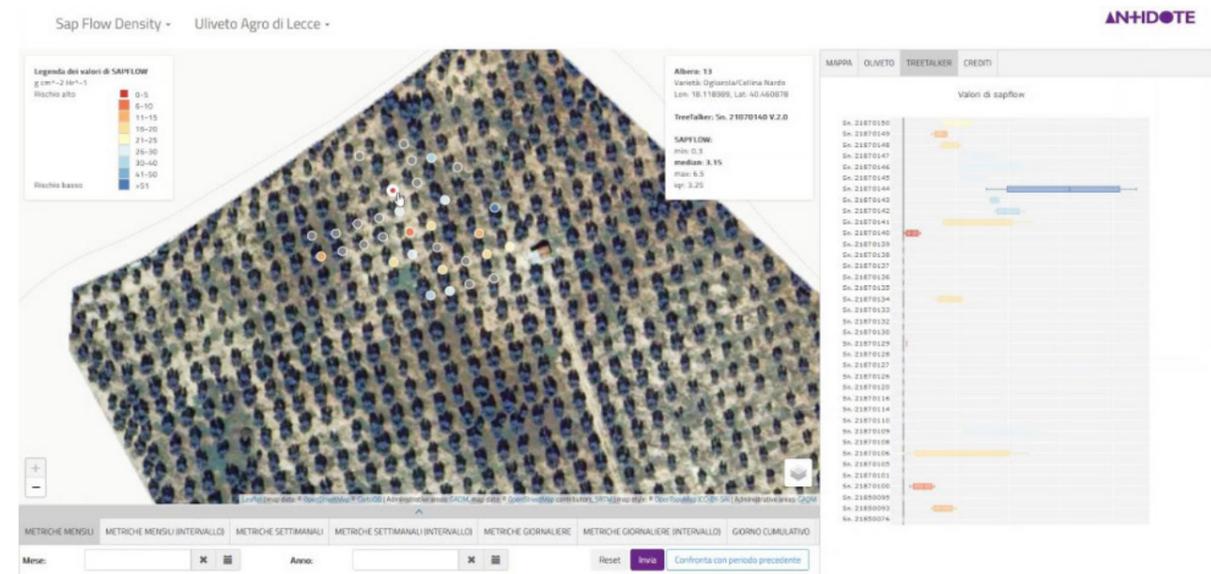


Fig. 2 - Mappa della Sap Flow Density delle piante e relativo box plot.

La mappa Sap Flow Density (Fig. 2) mostra i valori di densità del flusso xilematico registrati dai sensori installati su ciascun albero. Il flusso xilematico è responsabile del trasporto di acqua e sostanze nutritive dal suolo alle foglie e alle cellule attive della pianta. **Il monitoraggio di questo flusso fornisc**

sce informazioni sulla salute del sistema linfatico e sulla sua risposta agli stress ambientali dovuti alla variazione del potenziale idrico tra suolo e atmosfera. La persistenza di valori bassi indica che la pianta soffre di carenza idrica del suolo e/o di disseccamento delle sue parti.

Mapa 2: Normalized Difference Vegetation Index

La mappa Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) (Fig. 3) aiuta a comprendere lo stato di salute generale delle foglie. L'indice NDVI, infatti, è utile **per monitorare lo stress da siccità o disseccamento delle piante in quanto, in caso di stress idrico o disseccamento, le foglie cambiano colore,**

passando dal verde al giallo-marrone. Durante tale processo il valore dell'indice NDVI diminuisce. Tipicamente i valori di NDVI sono compresi tra -1 e +1. Valori inferiori a 0,3 possono indicare che la pianta è fortemente stressata. Valori superiori a 0,6 sono tipici di piante in buona salute.

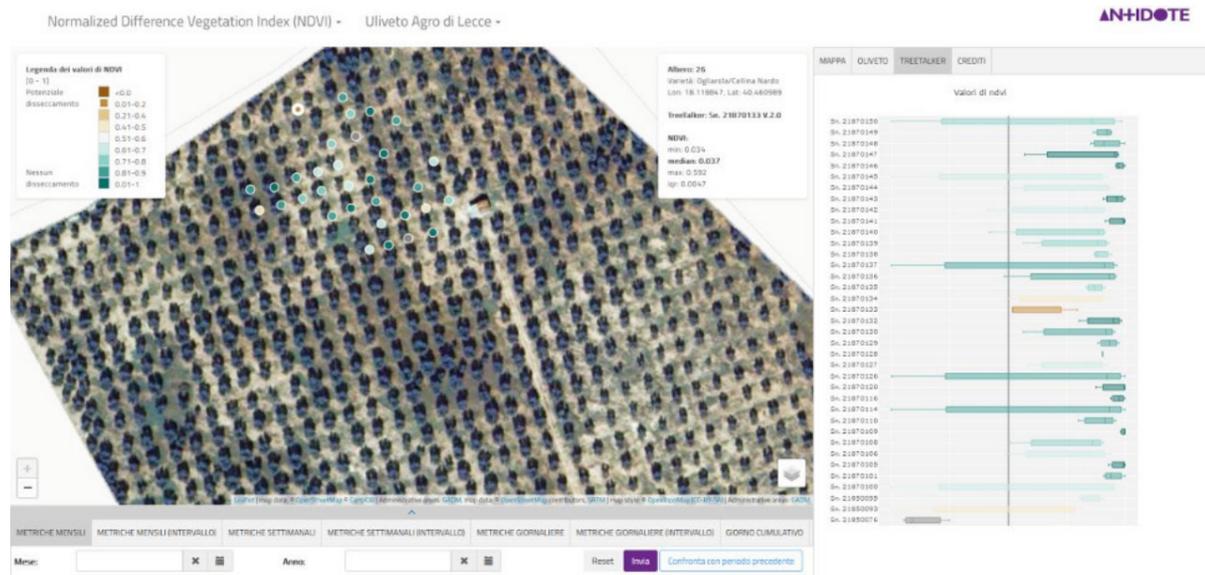


Fig. 3 - Mappa del *Normalized Difference Vegetation Index* delle piante e relativo box plot.

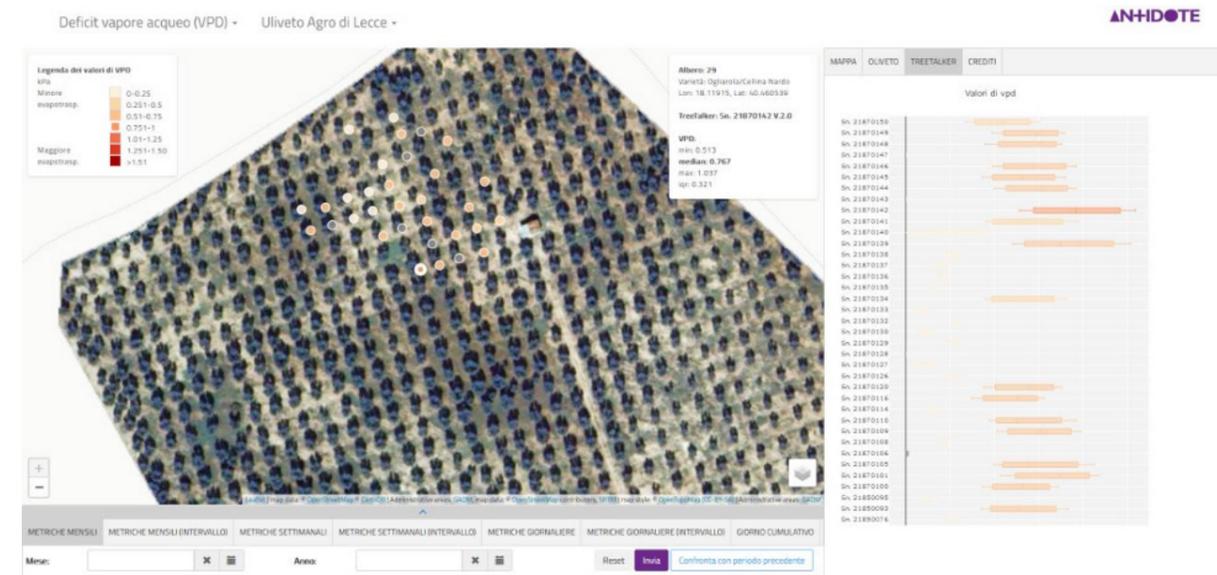


Fig. 4 - Mappa del *Vapour Pressure Deficit* delle piante e relativo box plot.

Mapa 3: Vapour Pressure Deficit

La mappa del *Vapour Pressure Deficit* (VPD) (Fig. 4) mostra i valori del deficit di pressione di vapore. **Questa mappa aiuta a capire la forza che guida il movimento del vapore acqueo dall'interno della foglia verso l'esterno.** Infatti, la perdita di acqua per traspirazione sarà tanto maggiore quanto maggiore sarà il VPD. Valori VPD intermedi consentono alla pianta di attivare il flusso xilematico, trasportando acqua e sostanze nutritive dalle radici alle foglie. Valori di VPD eccessivamente bassi o alti determinano un grave stress fisiologico delle piante, come un consumo eccessivo e un rapido impoverimento dell'acqua dal suolo. I valori VPD variano tipicamente tra 0 kPa (aria satura di vapore acqueo) e 3 kPa (aria secca e calda).



L'utilizzo congiunto delle mappe

È interessante sottolineare come nelle tre mappe, l'utilizzo di una scala cromatica indicante i vari valori del parametro permette di avere una comprensione immediata e precisa dello stato dell'intero campo. Inoltre, **ogni mappa è correlata da un box plot riportante i dati di dettaglio di ciascun albero monitorato.** La piattaforma IT prevede meccanismi di *cross-reference* tra più plot, quindi per ogni mappa è possibile visualizzare l'andamento temporale del relativo parametro come una serie temporale. **Il confronto temporale aiuta gli utenti a visualizzare gli andamenti stagionali/annuali di lungo periodo e a ricercare anomalie dovute allo scostamento dalla media stagionale dei**

periodi monitorati. Ad esempio, l'utente può interrogare la piattaforma IT per ottenere i valori di *Sap Flow Density* di una pianta in una finestra temporale da lui selezionata e scegliere di visualizzare i dati aggregati su base giornaliera, settimanale o mensile. La Figura 5 offre un esempio di come la piattaforma IT mostri il valore medio di *Sap Flow Density* di una pianta per ogni mese degli ultimi due anni. L'intero sistema è stato testato in un caso di studio reale, installando i kit di sensori in un uliveto del sud della Puglia (Italia) e coinvolgendo nella sperimentazione un totale di 25 utenti rappresentanti dei vari target di stakeholder (agricoltori, *policy makers*, ricercatori, biologi, cittadini).

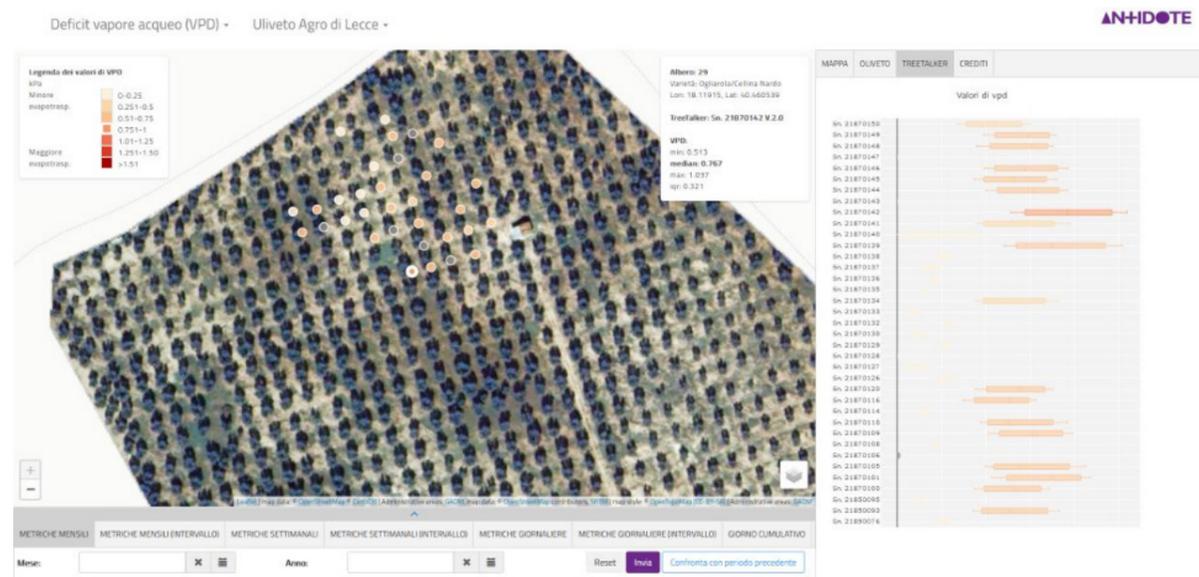
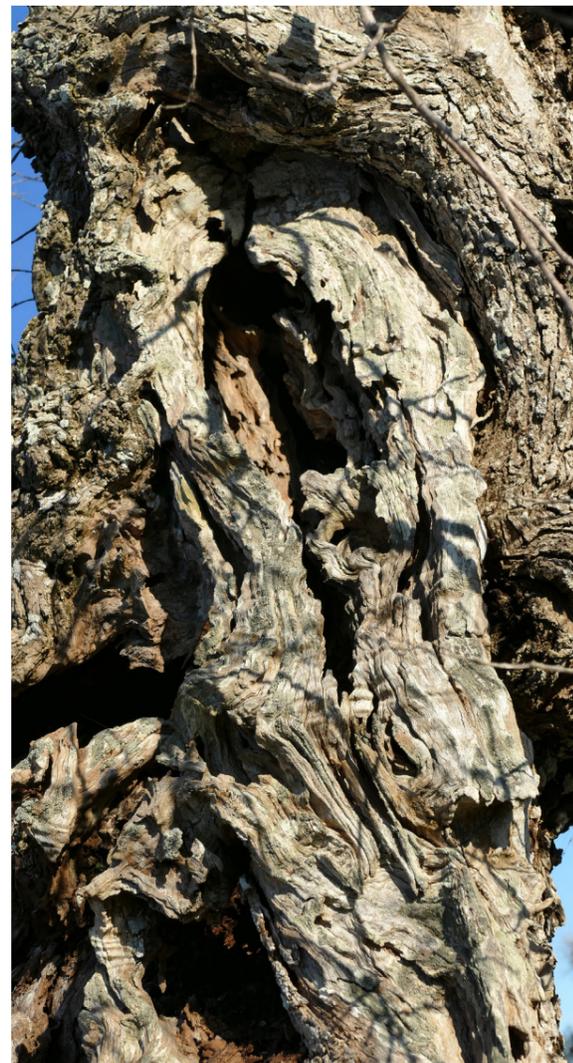


Fig. 5 - Mappa del Vapour Pressure Deficit delle piante e relativo box plot.

Benefici per gli stakeholder

La piattaforma IT descritta, rappresenta un sistema di monitoraggio e previsione per il patogeno Xf. **Gli stakeholders possono accedere in tempo reale alla mappa dei livelli di disidratazione degli ulivi delle aree monitorate ottenendo benefici di varia natura.** Gli agricoltori possono beneficiare dell'utilizzo della piattaforma IT ottenendo informazioni sull'andamento dell'infezione, sullo stato di salute delle piante e sul relativo andamento temporale. Grazie a tali informazioni saranno supportati nella definizione di azioni di intervento nelle aree di interesse che possono ad esempio portare all'impiego di terapie sperimentali e al monitoraggio dei risultati o alla scelta di diversificare la produzione investendo in altre colture. I *Policy makers* possono utilizzare il sistema, per ricostruire lo stato dell'infezione nei cam-

pi monitorati utile a stabilire politiche di contenimento dell'infezione, linee guida per la cura e la prevenzione delle colture e formulare misure di supporto al territorio e ai coltivatori. Ricercatori e biologi possono consultare la piattaforma per ottenere dati e informazioni utili allo studio del fenomeno infettivo, al fine di analizzare e circoscrivere cause ed effetti della malattia, investigare circa le modalità di diffusione della stessa e studiare metodologie o tecnologie applicabili nelle fasi di monitoraggio, previsione e supporto alle decisioni. In fine, i cittadini interessati, esplorando la piattaforma in ogni sezione e contenuto, possono informarsi circa la problematica ambientale che interessa il territorio, prendendo coscienza dell'importanza del fenomeno e maturando consapevolezza circa l'estensione dello stesso.



Trasferibilità delle soluzioni di monitoraggio

Progettare la soluzione di monitoraggio in maniera versatile, modulare e scalabile, aumenta le possibilità di trasferimento verso altri settori in cui la piattaforma IT può essere impiegata per risolvere problemi simili in contesti diversi e/o problemi simili nello stesso contesto. Ad esempio, **la piattaforma potrebbe essere impiegata per monitorare altri agenti patogeni che colpiscono gli ulivi (come la mosca dell'ulivo) o altri tipi di piante (per esempio i funghi patogeni del vino) previo settaggio dei parametri monitorati.** In un'ottica di trasferibilità orizzontale della soluzione, tale piattaforma potrebbe essere utilizzata in tutti i contesti in cui è necessario il monitoraggio ambientale come ad esempio il monitoraggio delle opere d'arte o delle condizioni della catena del freddo.

In particolare, la catena del freddo comprende la lavorazione, lo stoccaggio, il trasporto, la distribuzione e la vendita di prodotti sensibili alla variazione di temperatura come ad esempio: prodotti lattiero-caseari, alimenti freschi e prodotti orticoli, sangue, farmaci e vaccini. La catena del freddo deve munirsi di sistemi che garantiscano il monitoraggio e il mantenimento un ambiente a bassa temperatura, allo scopo di lasciare invariata la qualità delle merci. In questo scenario le soluzioni ideate troverebbero opportuna applicazione grazie all'utilizzo dei sensori di temperatura ed umidità dell'aria, di sistemi di geo-loc-

lizzazione, e di una piattaforma IT per la consultazione del dato *real-time*. Questo permetterebbe la localizzazione del mezzo di trasporto/oggetto di stoccaggio e delle sue condizioni ambientali, al fine di garantire la qualità e la tracciabilità del prodotto.



L'impiego di innovazioni tecnologiche, basate sull'utilizzo combinato di sensoristica di campo e piattaforme IT per il supporto alle decisioni, consentono il monitoraggio dello stato di salute delle colture agricole, offrendo supporto negli interventi di soccorso operati dagli agricoltori e nella mappatura del rischio derivante dalla diffusione di un patogeno, sulla base dei fattori climatico-ambientali e territoriali che realmente caratterizzano lo stato corrente della pianta. Le informazioni che questi sistemi sono in grado di collezionare risultano di potenziale interesse e valore per differenti *stakeholders*, motivo per il quale è necessario sviluppare soluzioni innovative *user friendly* attraverso cui massimizzare la *user experience* di ogni singolo profilo utente.

BIBLIOGRAFIA

1. Calvitti, M., Moretti, R., Lampazzi, E., Musmeci, S. and Sasso, R. (2020). "Phytosanitary management of agri-food production: Combining technological innovation and sustainability" *Energy, Environment and Innovation*, 1, 77-79.
2. Ferilli, F. (2016). Understanding olive growers' intention to participate in *Xylella fastidiosa* control measures in Apulia, Italy.
3. Saponari, M., Giampetruzzi, A., Loconsole, G., Boscia, D., & Saldarelli, P. (2019). *Xylella fastidiosa* in olive in Apulia: Where we stand. *Phytopathology*, 109(2), 175-186.
4. Stefani, E. & Boscia, D. (2019). *Xylella fastidiosa*: The pathogen, diseases and the current phytosanitary situation.
5. Latino, M. E., Corallo, A., Menegoli, M., & Nuzzo, B. (2021). Agriculture 4.0 as Enabler of Sustainable Agri-Food: A Proposed Taxonomy. *IEEE Transactions on Engineering Management*.
6. Corallo, A., Latino, M. E., & Menegoli, M. (2020, February). Agriculture 4.0: How use traceability data to tell food product to the consumers. In *2020 9th International Conference on Industrial Technology and Management (ICITM)* (pp. 197-201). IEEE.
7. Corallo, A., Filieri, F., Latino, M. E., Menegoli, M., & Sarcinella, M. (2021). An Internet Platform to Monitor Plant Pathogens Spread: The Italian Case of *Xylella*. *Journal of Communications*, 16(6).
8. Collier, H. (1975). Multilingual dictionary of technical terms in cartography. *Survey Review*, 23(176), 48-48.
9. Dent, B., Torguson, J., & Hodler, T. (2008). *Thematic map design*. New York, New York, NY: McGraw-Hill.
10. Granier, A. (1985). "A new method of sap flow measurement in tree stems," *Ann Sci. Forest*, 42(2), 193-200.

LE NOSTRE NEWSLETTER



**Le notizie più importanti
del mondo dell'agrifood,
direttamente nella tua casella mail
ogni lunedì e venerdì.**



Simone Fiorentino

Dottore agronomo e libero professionista. Per Elaisian si occupa del Coordinamento dei Dipartimenti Agronomico e AgroMarketing dove è principalmente coinvolto nella revisione scientifica e nelle attività di divulgazione per l'azienda.

ELAISIAN
Monitora e prenditi
cura dei tuoi campi
ovunque tu sia



Elaisian offre un servizio di agricoltura di precisione che permette di prevenire le malattie negli oliveti, nei vigneti e nei mandorleti grazie a Sistemi di Supporto alle Decisioni (SSD) dedicati ai patogeni. Inoltre propone un supporto decisionale continuo per gli interventi in campo in tutte le coltivazioni grazie ai SSD relativi alle immagini satellitari. In questo modo gli agricoltori possono ridurre i trattamenti fitosanitari, ottimizzare le concimazioni e le irrigazioni. L'azienda propone l'installazione di stazioni meteorologiche nel campo oggetto di studio, collegate ad un'applicazione che riceve notifiche e avvisi sullo sviluppo di patogeni.

Come ben sappiamo, ogni tipologia di pianta viene attaccata da agenti patogeni differenti. Che soluzioni offre la vostra azienda per gestire questa problematica?

Quali tipologie di prodotti avete sviluppato per realizzare, nel concreto, azioni di prevenzione delle malattie che più spesso colpiscono le colture?



principali patogeni dell'olivo (mosca, tignola, cimice asiatica, lebbra, occhio di pavone), della vite (peronospora, oidio, botrite, tignoletta e ragnetto rosso) e del mandorlo (empoasca, corineo e monilia) fino a 10 giorni in anticipo.

Lo studio del microclima prevede l'acquisizione dei dati di temperatura, umidità, pioggia e pressione atmosferica, questi oltre ad essere utilizzati nei modelli previsionali consentono una valutazione della stagione in corso, confrontandola con quelle passate ed andando ad analizzare i singoli momenti critici.

Monitorare le patologie permette di informare l'agricoltore con notifiche (per gli stadi meno critici, come l'informazione sull'andamento del ciclo di vita del patogeno) e alert (per gli stadi più critici, con consigli sugli interventi da eseguire). Questi vengono inviati con cadenza discontinua, in base alla velocità e al periodo di sviluppo, con un massimo di una notifica/alert ogni due giorni nei periodi di maggior rischio e consultabili giornalmente sulla App di Elaisian (<http://app.elaisian.com/>) e inviati via sms, questo per quanto riguarda gli alert, poiché più gravi.

Elaisian ha sviluppato delle soluzioni agritech essenziali per la riduzione dell'uso di prodotti fitosanitari. Grazie al SSD relativo alla previsione delle malattie, è in grado di prevedere l'attacco dei

Elaisian, per venire incontro alle esigenze degli agricoltori e per permettere un servizio integrato che prevede l'uso di diversi strumenti per il monitoraggio dei propri terreni, offre oggi diverse strumentazioni aggiuntive ai SSD.

Di base già i SSD relativi ai patogeni, con notifiche ed alert, sono dei sistemi altamente efficienti per il controllo dei patogeni in campo. In aggiunta, Elaisian propone altri prodotti per un ulteriore monitoraggio e/o controllo dei patogeni: trappole per il controllo degli insetti con conta automatica, fotocamera intelligente prodotti biologici a base di polvere di roccia (caolino).

Grazie alla nostra collaborazione con aziende del settore proponiamo le trappole "Elais Trap" per un monitoraggio diretto e da remoto attraverso la fotocamera integrata da 10 Mp e la conta automatica giornaliera e mensile. Proponiamo quindi la fotocamera sempre a 10 Mp per monitorare le fasi fenologiche delle piante e infine l'acquisto di concimi utili per il rinvigorimento delle piante e per il controllo dei patogeni, infatti la polvere di roccia copre la superficie degli organi vegetali riducendo gli attacchi

degli insetti e riduce l'umidità riducendo l'attacco fungino.



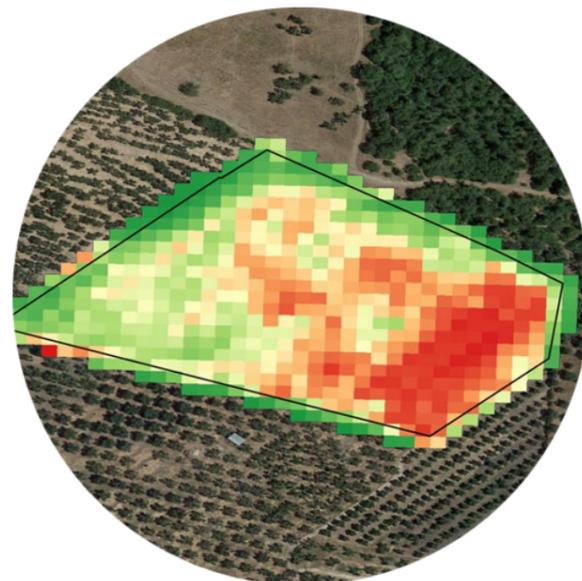
Quali sono i benefici che gli agricoltori ottengono rivolgendovi alla vostra realtà?

Le soluzioni di Elaisian permettono di rendere le produzioni più sostenibili perché l'azienda sarà in grado di diminuire la quantità di trattamenti e concimi senza perdere efficienza. Inoltre, in questo modo l'azienda avrà più tempo a disposizione per le attività gestionali e per il miglioramento dei processi produttivi. La riduzione nell'uso di prodotti fitosanitari (SSD pa-

togeni) e l'ottimizzazione di concimazioni e irrigazione (SSD immagini satellitari) permettono di ridurre i costi aziendali fino al 30-40%, fornendo un aumento dei profitti fino al 30-35%. Questi dati sono stati ottenuti da uno studio condotto da Elaisian in collaborazione con l'Università La Sapienza di Roma [Savastano, Amendola, Fiorentino, Angelici, 2022]

Qual è il vostro target di cliente?

Il mercato di riferimento va dai piccoli produttori familiari, anche con un solo ettaro a disposizione, alle grandi aziende che utilizzano canali di vendita al dettaglio e di grande distribuzione, di dimensioni fino alle centinaia di ettari. Inoltre, l'adattabilità degli algoritmi e degli studi sulla vegetazione permette a Elaisian di operare in qualsiasi parte del mondo. Offriamo una consulenza continua 365 giorni all'anno e aiutiamo i nostri clienti e conoscere sempre di più la nostra tecnologia per sfruttarne al meglio le potenzialità e per alcune realtà definiamo degli accordi di collaborazione *ad hoc* dedicati alla consulenza specifica in alcuni ambiti di studio.



Qual è, secondo voi, l'aspetto più innovativo che contraddistingue la vostra azienda e il vostro prodotto?

Abbiamo una soluzione verticale per varie tipologie di coltura, con un grado di affidabilità pari al 96%, contro una media del 70%, questo grazie ad una presenza nel mercato di oltre 5 anni. Inoltre, l'affidabilità del servizio ci permette di calcolare le infezioni da patogeni con estrema precisione e ha reso possibile lo sviluppo di un approccio completamente dedicato all'olivo mai sviluppato in precedenza, oggi sviluppato anche per vite e mandorlo.

Il servizio di Elaisian è altamente scalabile e adattabile ad ogni area geogra-

fica senza limiti di spazio e connessione grazie all'IoT. L'agricoltura digitale aiuterà le aziende agricole a crescere sia nel mercato di riferimento che nello sviluppo tecnologico, riducendo i costi e le tempistiche lavorative, migliorando il benessere degli agricoltori e la qualità dei prodotti. L'agricoltura digitale aiuterà le aziende agricole a crescere sia nel mercato di riferimento che nello sviluppo tecnologico, riducendo i costi e le tempistiche lavorative, migliorando il benessere degli agricoltori e la qualità dei prodotti.





L'AUTORE

**Massimo Tolomio**

Studia Agraria a Padova dove ottiene il dottorato nel 2019. Si appassiona ai modelli colturali durante un periodo alla MSU (USA). Successivamente lavora per due anni su modelli e *remote sensing* all'UNITUS (Viterbo). Da fine 2021 è postdoc all'Università di Wageningen (NL), dove si occupa di DSS e *yield gap*.

I SATELLITI A SUPPORTO DELL'AGRICOLTURA CONTRO LO STRESS IDRICO

Evitare lo stress idrico della coltura è una preoccupazione primaria di ogni agricoltore. L'osservazione della Terra da satellite consente di "scattare delle istantanee" delle piante e del suolo, stimando il deficit traspirativo o l'umidità del suolo, a supporto delle scelte irrigue dell'agricoltore.

Deficit traspirativo, umidità del suolo e stress idrico



Le prime domande che sorgono pensando all'irrigazione in agricoltura sono: **quando** e **quanto irrigare**? La risposta, ovviamente, dipende dall'obiettivo produttivo. Ma ci sono alcuni processi fisiologici delle piante che guidano la pratica irrigua e che, almeno a livello intuitivo, sono noti a tutti. Accade infatti, prendendoci cura delle piante in casa, di innaffiarle più frequentemente d'estate perché la temperatura è più alta o di evitare che il terriccio sia troppo secco. Questi ragionamenti sono ovvi per **gli agricoltori, che sanno bene quali rischi corre la produzione se la pianta non dispone di sufficienti riserve idriche**. All'atto pratico, sono due le cose da tenere d'occhio per decidere quando e quanto irrigare:

- la **domanda traspirativa**, controllata dall'atmosfera (temperatura, radiazione, umidità dell'aria e vento) e dalle caratteristiche della pianta;
- la **disponibilità idrica**, ossia la riserva d'acqua presente nel suolo.

La **domanda traspirativa dovrà essere bilanciata da un'adeguata disponibilità idrica per evitare il deficit traspirativo, che provoca la chiusura degli stomi della pianta**. Gli stomi sono anche il punto di entrata della CO_2 per la fotosintesi, che converte il carbonio atmosferico in tessuti della pianta (biomassa), compresi quelli di interesse per la produzione.

Ne consegue, come è stato formalizzato sin dagli anni '80, che **domanda traspirativa e disponibilità idrica sono legate alla resa delle colture** [1 – 4]. Nonostante gli effetti dello stress idrico siano complessi e numerosi (ad esempio riduzione dell'espansione fogliare, anticipazione e accelerazione della senescenza, modifica della durata delle fasi fenologiche e della ripartizione di assimilati), lo stress traspirativo è il più pericoloso ma anche il più "facilmente" quantificabile. Ciò avviene attraverso la stima o misu-

ra del deficit traspirativo o dell'umidità del suolo (usata come *proxy*) [5]. **Si può infatti identificare, per ogni coltura, una "soglia di sicurezza" di umidità del suolo al di sopra della quale la pianta non incorre nello stress traspirativo**. È la cosiddetta soglia dell'acqua facilmente disponibile, così come definita nei manuali di agronomia italiani, o della *Readily Available Water (RAW)* in inglese, così come definita nel famoso **FAO Irrigation and drainage paper 56** [6 – 7].



Satelliti e sensori: cosa si vede dallo spazio?

I sensori montati sui satelliti, di cui si occupa la disciplina della **Earth Observation (EO)**, possono essere considerati come un occhio che osserva la Terra dallo spazio. Da questa osservazione possono essere estrapolate informazioni utili sul deficit traspirativo delle piante o sull'umidità del suolo.

I sensori satellitari, dunque, ci permettono di avere informazioni incaptabili ad occhio nudo, quantificando la radiazione riflessa/emessa dalla superficie terrestre

(Fig. 1). In linea di massima, **le lunghezze d'onda di particolare interesse per l'ambito agricolo** sono:

- **visibile + infrarosso vicino** (*Near InfraRed – NIR*), per la caratterizzazione fisico-chimica delle colture;
- **infrarosso termico**, per la stima della temperatura del suolo e della pianta;
- **microonde**, tramite cui viene misurata l'umidità del suolo.

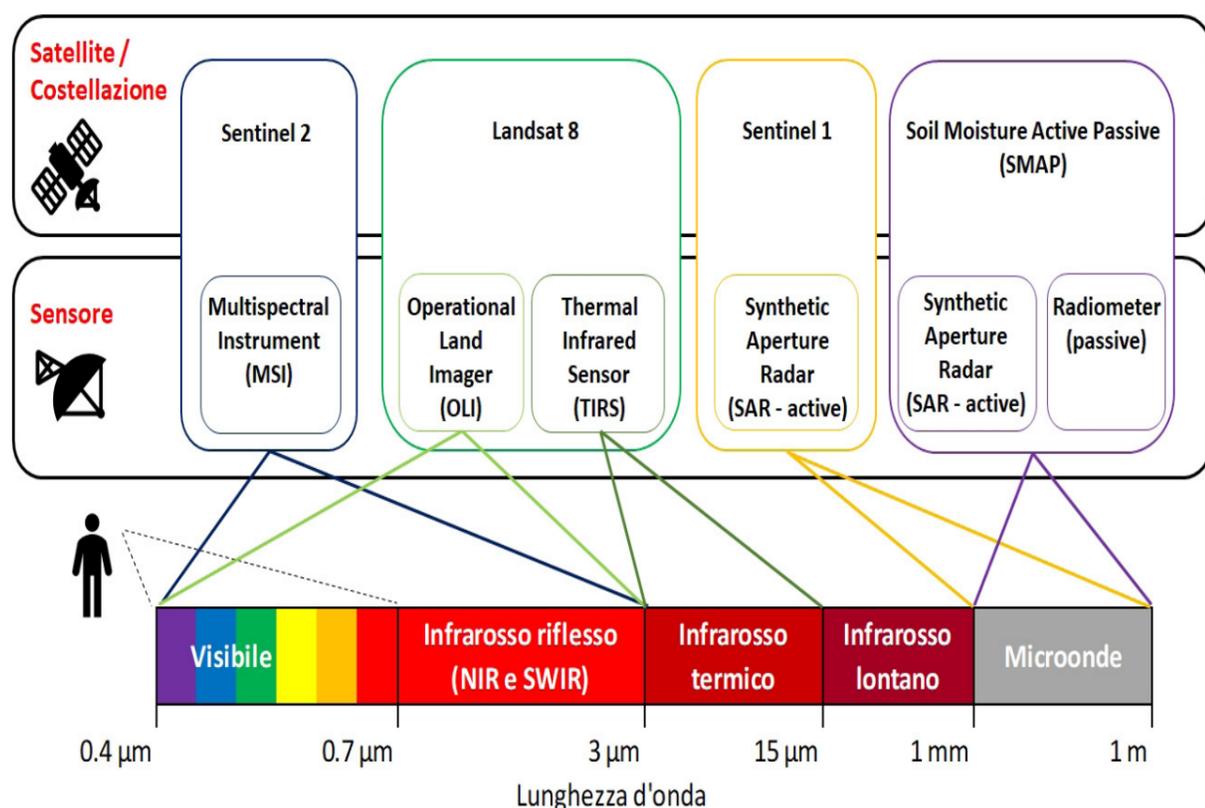


Fig. 1 - Alcuni famosi satelliti e sensori utili in ambito agricolo e le lunghezze d'onda in cui operano.

Applicazioni e limiti

Le applicazioni dell'EO che riguardano la misura del deficit traspirativo e dell'umidità del suolo sono diverse ma, semplificando, possono essere riassunte come segue (Fig. 2):

- le misure della domanda e del deficit traspirativo possono definire l'evapotraspirazione combinando le informazioni derivanti dall'infrarosso termico (temperatura del suolo e della pianta), e dal visibile + NIR (caratteristiche fisiche). **Le caratteristiche fisiche della pianta rappresentano l'interfaccia con l'atmosfera, e consentono di definire la domanda evapotraspirativa di una coltura, mentre**

dall'infrarosso termico si possono ottenere ulteriori informazioni sullo stato di stress della pianta e sui bilanci energetici della superficie agricola [9]. Tra vari metodi, vale la pena ricordare il metodo diretto per la stima dell'evapotraspirazione tramite Penman-Monteith [10], noto nella realtà italiana [11];

- le misure dell'umidità del suolo avvengono nell'ambito delle microonde, tramite sensori passivi (*radiometri*) e attivi (*radar*), che hanno il vantaggio rispetto ad altri sensori di riuscire a vedere attraverso le nuvole [12]. Tuttavia, **la risoluzione spaziale è ancora piuttosto grezza per scopi**

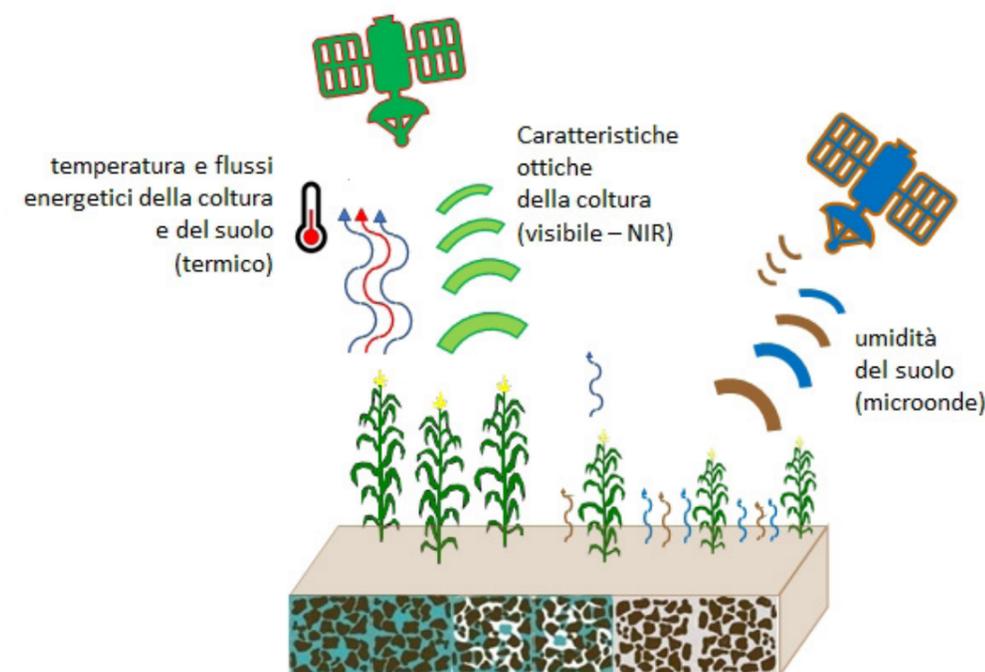


Fig. 2 - Schematizzazione delle informazioni rilevate dai sensori satellitari per la stima del deficit traspirativo o dell'umidità del suolo.



agricoli, richiedendo delle forme di *downscaling* non sempre ottimali [13 – 14].

In generale, uno dei maggiori vantaggi dell'EO è che le immagini sono gratuite o a basso costo, e è solo il *processing*, ossia il passaggio dall'immagine grezza a quella direttamente utilizzabile per lo scopo prescelto, a essere d'ostacolo per l'utilizzazione finale. Per questo motivo un approccio che sta emergendo di recente è quello di fornire prodotti a un livello di *processing* superiore, come avviene nel caso della piattaforma openET [15], che fornisce mappe di evapotraspirazione per gli USA, ottenute principalmente integrando le immagini satellitari con diversi modelli di flusso energetico della superficie (*Surface Energy Balance – SEB*). Ciò consente di uniformare e ufficializzare l'elaborazione dei dati, evitando che utenti diversi debbano ripetere lo stesso *processing* singolarmente. L'utilizzo diretto dell'EO per la stima

dello stress idrico e dei suoi effetti sulle colture presenta tuttavia dei limiti. Tra i principali limiti operativi, ci sono: la difficoltà di ottenere immagini alla risoluzione desiderata per la scala di campo, l'impossibilità per i sensori ottici di acquisire immagini utili in presenza di copertura nuvolosa, e una frequenza di acquisizione delle immagini a volte insufficiente. Oltre a ciò, l'EO non riesce a cogliere tutti gli effetti dello stress idrico sulla pianta. Ad esempio, lo stress idrico durante la fase di riempimento nelle cariossidi può causare nel mais una riduzione nel numero e nel peso delle cariossidi, ma queste differenze, pur determinanti per la resa, possono non causare variazioni rilevabili nell'impronta spettrale [16]. Per finire, i satelliti rappresentano uno strumento per l'osservazione dello stato attuale delle colture, ma da soli possono difficilmente fornire previsioni su quanto avverrà in futuro, o permettere di analizzare scenari di gestione della risorsa irrigua differenti.

Integrazione con modelli colturali e sistemi di supporto alle decisioni



I **modelli di simulazione della crescita delle colture**, più o meno complessi, offrono delle promettenti possibilità di integrazione con l'EO. Tali modelli simulano crescita e sviluppo della coltura tenendo conto delle interazioni tra la genetica della varietà utilizzata, l'ambiente, e la gestione agronomica, sintetizzando le conoscenze sulle risposte fisiologiche della pianta tramite equazioni matematiche tra loro collegate, che vengono risolte solitamente in maniera discreta, su base giornaliera. Ciò consente di utilizzare informazioni locali (es. dati meteo e tipo di suolo, tipo e date delle operazioni colturali) per costruire delle simulazioni che catturino la crescita della coltura e le interazioni del continuum

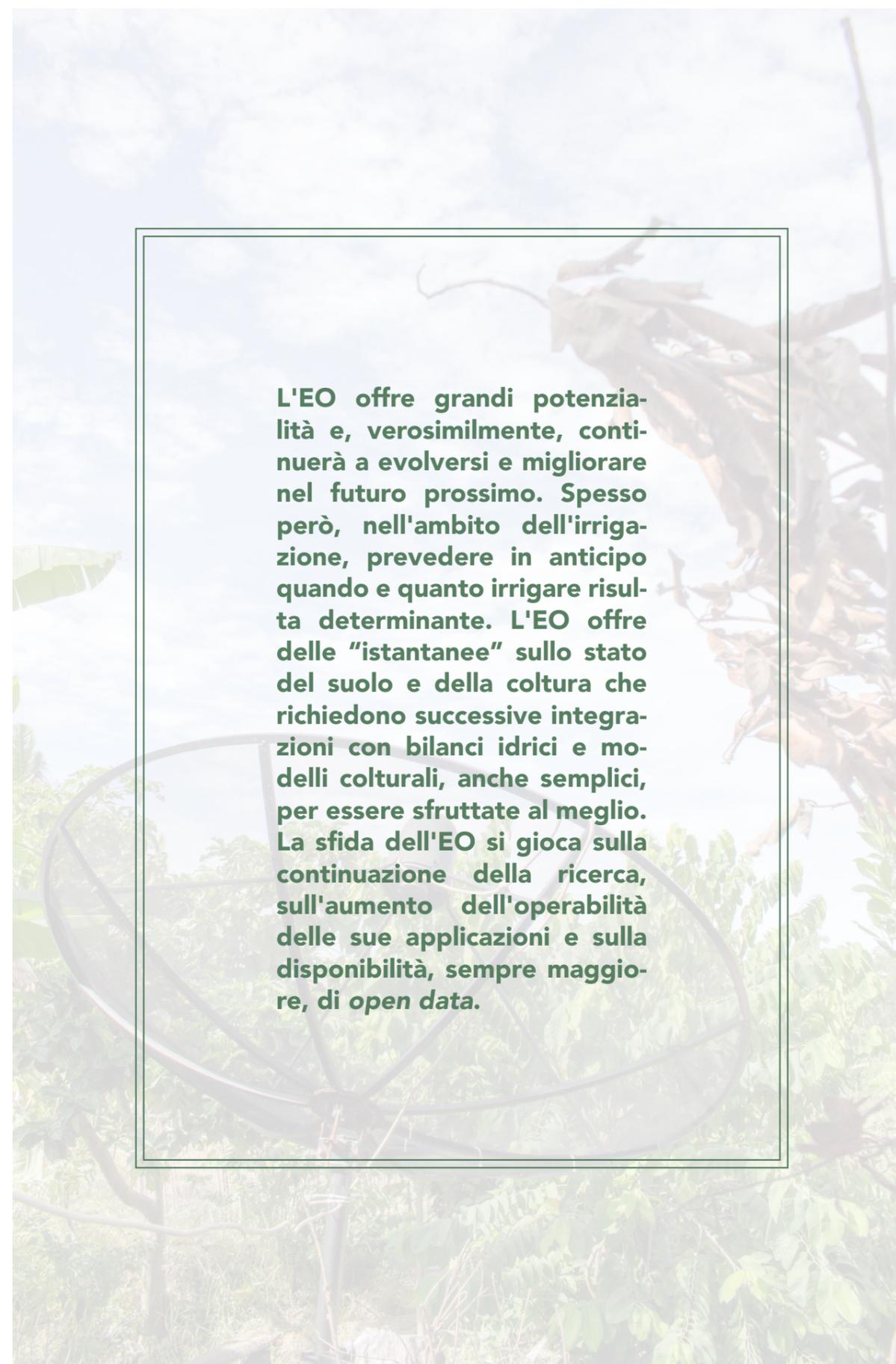
suolo-pianta-atmosfera [5, 16]. A seconda dell'obiettivo e del grado di complessità, i modelli colturali possono stimare gli effetti di limitazioni nella disponibilità delle risorse sulla pianta. Ad esempio, un coefficiente di stress idrico può essere calcolato in funzione dell'umidità del suolo o del deficit traspirativo ed essere applicato alle equazioni dell'accumulo di biomassa per ridurre la crescita della pianta come effetto dello stress [5]. I modelli possono essere usati anche per stimare il divario tra produzione potenziale (in assenza di stress) e produzione limitata dalla disponibilità idrica [17], così come i requisiti irrigui per colmare tale divario [18]. L'uso dei modelli colturali in combinazione con l'EO è tuttora

oggetto di studio da parte della comunità scientifica, che continua a proporre soluzioni integrative innovative e performanti. Ad esempio, le previsioni della resa possono essere migliorate con tecniche di *machine learning* che **integrino indici vegetativi ottenuti dalle immagini satellitari con indici di stress idrico cumulato ottenuti dai modelli colturali** [16]. O ancora, altre procedure, come la *data assimilation*, consentono di **integrare le osservazioni dell'EO ottenute durante il corso della stagione colturale nelle simulazioni dei modelli colturali**, per correggere progressivamente queste ultime e ottenere stime di resa e requisiti irrigui via via più precise [19]. Al di là delle ricerche più recenti, ulteriori sforzi vengono continuamente fatti per rendere più accessibili per gli utenti le applicazioni basate sull'EO, sui modelli colturali o su entrambi, con lo scopo principale di fornire dei **sistemi di supporto alle decisioni** (SSD, oppure in inglese *Decision Support Systems – DSS*), che supportino la pianificazione della pratica irrigua, **permettendo all'agricoltore di produrre di più e di aumentare l'efficienza d'uso dell'acqua**. Gli esempi sarebbero molteplici, eccone di seguito riportati alcuni:

- il **modello colturale AquaCrop** [20 – 21]. AquaCrop è un modello relativamente semplice, sviluppato dalla FAO con in mente la gestione irrigua e la facilità d'uso. Si basa sui concetti di soglie idriche dell'approccio FAO 56 [6], affrontati più sopra, e viene descritto più nel dettaglio nell'*Irrigation and Drainage Paper 66* [21]. La pagina web di AquaCrop [22] fornisce già un'idea delle diverse operabilità: a fianco della versione standard, co-

munque dotata di interfaccia grafica, è presentato AquaCrop-GIS, che consente la spazializzazione del modello. Esiste inoltre una versione con il codice open source (Aquacrop-OS) [23] che consente, a chi si occupa di ricerca, di studiare o modificare il codice sorgente o di utilizzare tecniche più avanzate come la *data assimilation*;

- la **piattaforma Irrisat**[®] [11, 24] creata da uno *spin-off* dell'Università di Napoli Federico II. Irrisat[®] applica il metodo diretto per la stima dell'evapotraspirazione [10 – 11] e unisce i dati satellitari a un bilancio idrico basato sul metodo FAO 56 [6];
- il **progetto MARS** (*Monitoring of Agricultural ResourceS*) del JRC (*Joint Research Center* della Commissione Europea) che integra dati sensoristici e modelli colturali. MARS si occupa anche di previsioni della resa e dei fabbisogni irrigui delle colture su larga scala, combinando EO, modelli climatici e colturali [25].



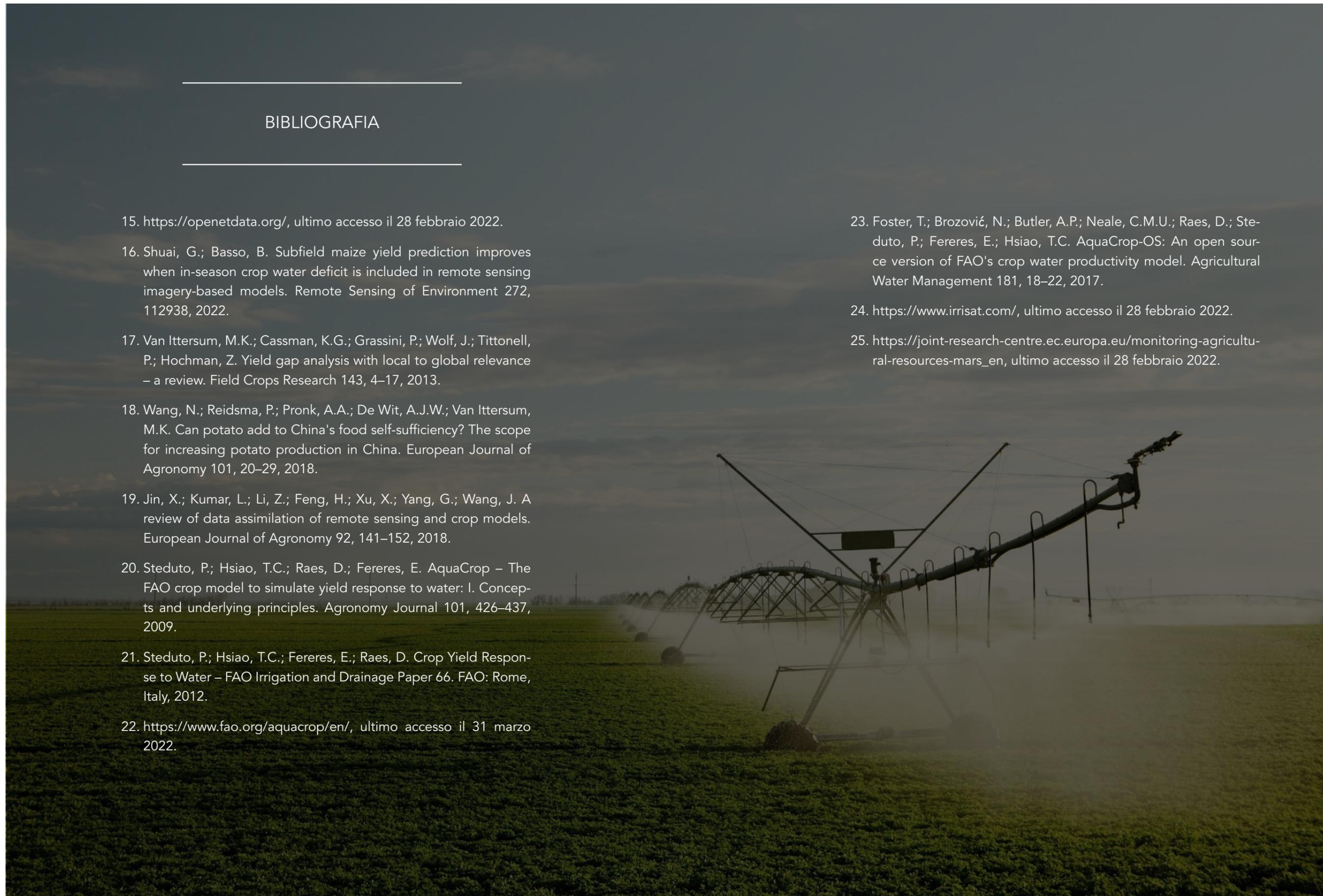
L'EO offre grandi potenzialità e, verosimilmente, continuerà a evolversi e migliorare nel futuro prossimo. Spesso però, nell'ambito dell'irrigazione, prevedere in anticipo quando e quanto irrigare risulta determinante. L'EO offre delle "istantanee" sullo stato del suolo e della coltura che richiedono successive integrazioni con bilanci idrici e modelli colturali, anche semplici, per essere sfruttate al meglio. La sfida dell'EO si gioca sulla continuazione della ricerca, sull'aumento dell'operabilità delle sue applicazioni e sulla disponibilità, sempre maggiore, di open data.

BIBLIOGRAFIA

1. Tanner, C.B.; Sinclair, T.R. Efficient water use in crop production: Research or re-search? In: Limitations to efficient water use in crop production, 1–27, 1983.
2. Sinclair, T.R.; Tanner, C.B.; Bennett, J.M. Water-use efficiency in crop production. *Bioscience* 34, 36–40, 1984.
3. French, R.J.; Schultz, J.E. Water use efficiency of wheat in a Mediterranean-type environment. I. The relation between yield, water use and climate. *Australian Journal of Agricultural Research*, 35, 743–764, 1984.
4. French, R.J.; Schultz, J.E. Water use efficiency of wheat in a Mediterranean-type environment. II. Some limitations to efficiency. *Australian Journal of Agricultural Research*, 35, 765–775, 1984.
5. Tolomio, M.; Casa, R. Dynamic crop models and remote sensing irrigation decision support systems: A review of water stress concepts for improved estimation of water requirements. *Remote Sensing*, 12, 3945, 2020.
6. Allen, R.G.; Pereira, L.S.; Raes, D.; Smith, M. Crop evapotranspiration – Guidelines for computing crop water requirements – FAO Irrigation and drainage paper 56. Fao, Rome, 300, D05109, 1998.
7. <https://www.fao.org/3/X0490E/x0490e00.htm>, ultimo accesso il 28 febbraio 2022.
8. Rouse Jr., J.W.; Haas, R.H.; Schell, J.A.; Deering, D.W. Monitoring Vegetation Systems in the Great Plains with ERTS. In: Third Earth Resources Technology Satellite-1 Symposium: Section AB. Technical presentations (Vol. 1, p. 309). Scientific and Technical Information Office, National Aeronautics and Space Administration, 1973.
9. Calera, A.; Campos, I.; Osann, A.; D'Urso, G.; Menenti, M. Remote sensing for crop water management: From ET modelling to services for the end users. *Sensors*, 17, 1104, 2017.
10. D'Urso, G.; Menenti, M. Mapping crop coefficients in irrigated areas from Landsat TM images. In: *Remote Sensing for Agriculture, Forestry, and Natural Resources* (Vol. 2585, pp. 41–47). International Society for Optics and Photonics, 1995.
11. D'Urso, G.; Michele, C.D.; Bolognesi, S.F. IRRISAT: The Italian on-line satellite irrigation advisory service. In: *Proceedings of the EFITA-WCCA-CIGR Conference "Sustainable Agriculture Through ICT Innovation"*, Turin, Italy (pp. 23–27), 2013.
12. Karthikeyan, L.; Pan, M.; Wanders, N.; Kumar, D.N.; Wood, E.F. Four decades of microwave satellite soil moisture observations: Part 1. A review of retrieval algorithms. *Advances in Water Resources*, 109, 106–120, 2017.
13. Peng, J.; Loew, A.; Merlin, O.; Verhoest, N.E. A review of spatial downscaling of satellite remotely sensed soil moisture. *Reviews of Geophysics*, 55, 341–366, 2017.
14. Sabaghy, S.; Walker, J.P.; Renzullo, L.J.; Jackson, T.J. Spatially enhanced passive microwave derived soil moisture: Capabilities and opportunities. *Remote Sensing of Environment* 209, 551–580, 2018.

BIBLIOGRAFIA

15. <https://openetdata.org/>, ultimo accesso il 28 febbraio 2022.
16. Shuai, G.; Basso, B. Subfield maize yield prediction improves when in-season crop water deficit is included in remote sensing imagery-based models. *Remote Sensing of Environment* 272, 112938, 2022.
17. Van Ittersum, M.K.; Cassman, K.G.; Grassini, P.; Wolf, J.; Tittone, P.; Hochman, Z. Yield gap analysis with local to global relevance – a review. *Field Crops Research* 143, 4–17, 2013.
18. Wang, N.; Reidsma, P.; Pronk, A.A.; De Wit, A.J.W.; Van Ittersum, M.K. Can potato add to China's food self-sufficiency? The scope for increasing potato production in China. *European Journal of Agronomy* 101, 20–29, 2018.
19. Jin, X.; Kumar, L.; Li, Z.; Feng, H.; Xu, X.; Yang, G.; Wang, J. A review of data assimilation of remote sensing and crop models. *European Journal of Agronomy* 92, 141–152, 2018.
20. Steduto, P.; Hsiao, T.C.; Raes, D.; Fereres, E. AquaCrop – The FAO crop model to simulate yield response to water: I. Concepts and underlying principles. *Agronomy Journal* 101, 426–437, 2009.
21. Steduto, P.; Hsiao, T.C.; Fereres, E.; Raes, D. *Crop Yield Response to Water – FAO Irrigation and Drainage Paper 66*. FAO: Rome, Italy, 2012.
22. <https://www.fao.org/aquacrop/en/>, ultimo accesso il 31 marzo 2022.
23. Foster, T.; Brozović, N.; Butler, A.P.; Neale, C.M.U.; Raes, D.; Steduto, P.; Fereres, E.; Hsiao, T.C. AquaCrop-OS: An open source version of FAO's crop water productivity model. *Agricultural Water Management* 181, 18–22, 2017.
24. <https://www.irrisat.com/>, ultimo accesso il 28 febbraio 2022.
25. https://joint-research-centre.ec.europa.eu/monitoring-agricultural-resources-mars_en, ultimo accesso il 28 febbraio 2022.





Jacopo Teodori

Laureato in Design per la moda e Master in Business Administration, ha iniziato lavorando nel campo della moda come designer e product manager. Co-fondatore di Wallfarm, azienda per cui ha iniziato nel marketing e nella comunicazione, diventato poi direttore operativo e ora è il nuovo amministratore delegato della società.

WALLFARM

Intelligent agriculture

WALLFARM
intelligent agriculture

Wallfarm SRL è una società con sede a Roma, ma che tra Milano e Modena assembla i propri prodotti. Il suo obiettivo è quello di favorire, semplificandola, la diffusione della coltivazione fuori-suolo in idroponica e/o aeroponica attraverso sistemi in grado di analizzare le caratteristiche chimico-fisiche dell'acqua. In questo modo è possibile dosare i giusti nutrienti per le piante, ottimizzandone la crescita. Accanto a questo, WallFarm SRL si propone di sostenere tutti i settori che necessitano di controllare e monitorare i liquidi, come le aziende che si occupano di allevamento di pesci o di gestione delle acque reflue.

Da dove nasce l'interesse di Wallfarm per l'idroponica e come si è evoluta nel tempo?



Siamo partiti a fine 2015, ispirati e motivati da quanto visto all'EXPO di Milano. L'obiettivo era contribuire a sviluppare sistemi in grado di aumentare la produzione alimentare ma in maniera sostenibile e performante. Per farlo abbiamo ideato L.I.A (*Lean Intelligent Agriculture*), unità di controllo completamente automatica per i sistemi idroponici. L.I.A. è stata creata per essere un dispositivo di gestione scalabile e versatile. Grazie alle tecnologie brevettate di Wallfarm, oggi è possibile coltivare fino a dieci diverse linee di piante contemporaneamente, con diverse dimensioni e impianto idraulico. Il tutto senza ricorrere ad analisi manuali dell'acqua. La partecipazione a InnovActionLab, programma per la

creazione e l'accelerazione di progetti innovativi, ci ha permesso di esplorare questo ambito applicativo e ci ha portati a fare prove ed esperimenti direttamente in campo.

Con il tempo la nostra mission è diventata quella di espandere la diffusione della coltivazione fuori-suolo proprio per il valore aggiunto che essa ha rispetto alla coltivazione tradizionale: riduzione fino al 90% nello spreco d'acqua, riduzione nell'uso di pesticidi, possibilità di coltivare più tipologie di piante, crescita più rapida, possibilità di ottenere prodotti con fattori antinutrizionali ridotti o assenti (per esempio nichel), minor impatto sulle colture dovuto ai cambi stagionali o agli stress abiotici.

L'idroponica è una delle tecnologie *smart farming* più sostenibili: non sfrutta terreni agricoli se non per l'estensione dello stabilimento di coltivazione e permette allo stesso tempo il risparmio di ettolitri di acqua. Nonostante ciò, una delle maggiori problematiche della tecnologia è legata alla necessità di assorbimento di nutrienti adeguati da parte delle piante. Quale soluzione avete sviluppato?

Abbiamo iniziato proponendo un sistema intero per la coltivazione, oggi proponiamo macchinari per l'analisi e il dosaggio dell'acqua, un prodotto che ci rende competitivi anche su altri settori e che permette di rispondere a una delle criticità più grandi nel campo delle coltivazioni fuori suolo: la necessità di conoscere le specifiche di crescita di ciascuna pianta che si intende di coltivare. Solo così è possibile fornire i giusti apporti nutritivi, senza sprechi.

Noi di Wallfarm ci siamo inseriti proprio in questa direzione, automatizzando i processi di lettura e dosaggio

di nutrienti e regolatori (inizialmente pH ed EC), mappando e rendendo possibile un controllo e immagazzinamento dei dati.



A quali tipologie di piante dedicate i vostri sistemi d'irrigazione?

La nostra tecnologia può essere utilizzata per far crescere qualsiasi tipo di pianta, sta all'utente scegliere l'impianto che vorrà utilizzare e le piante che vorrà crescere. Negli anni abbiamo fatto diversi test di crescita, basti pensare che abbiamo iniziato coltivando grano duro in idroponica, siamo passati dalle insalate e piante da taglio, per poi affron-

tare anche la coltivazione di piante officinali come la lavanda. Abbiamo testato la coltivazione delle piante da frutto e quelle con poco storico, come le viti. Il nostro obiettivo è aiutare il coltivatore eliminando problemi e limiti, ma lasciandogli piena libertà in termini di tipologia di coltivazione e garantendogli ogni informazione o dato a portata di cellulare.



Quale tecnologia sottende i vostri sistemi d'irrigazione? (L.I.A., the only fully automatic control unit for hydroponic systems...)

Il nostro prodotto L.I.A. si compone di software e firmware, proprietari e visualizzabili sia da computer che da cellulare, ma anche di hardware. Il modulo centrale dei prodotti fisici è dove avviene l'analisi e l'autocalibrazione delle sonde, nella versione base ci sono 3 dosa-

tori ma se ne possono collegare da 1 a 12, in base alla necessità di coltivazione. Abbiamo anche sviluppato altri prodotti opzionali, tra i quali il deviatore di flusso che consente di controllare fino a 10 diverse coltivazioni sequenzialmente con un solo modulo di analisi.

Qual è il vostro target di cliente? (dimensioni aziende, italiane/estero, è possibile customizzare il prodotto...)

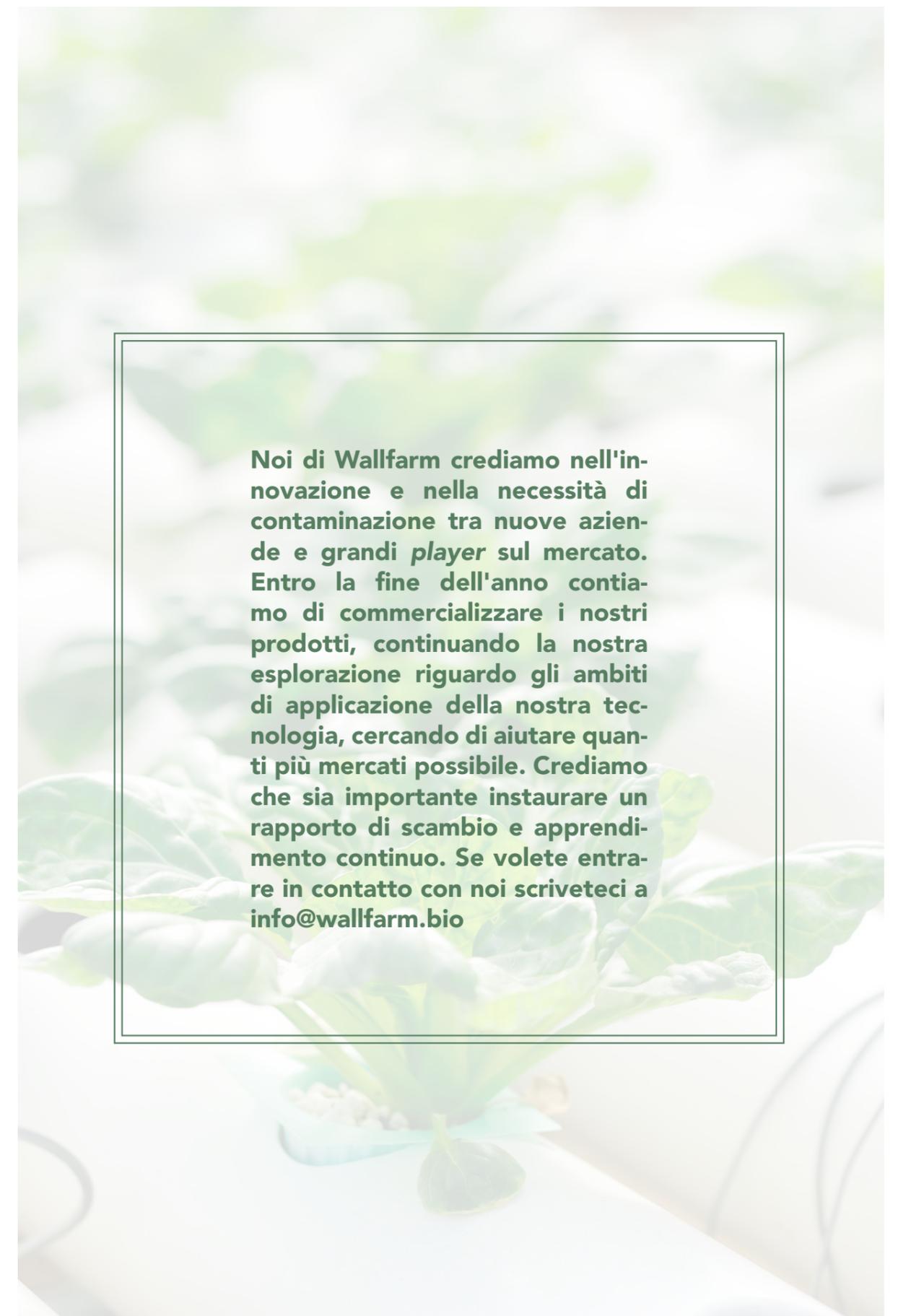
Il nostro mercato prevede di essere prevalentemente presenti sul territorio americano, lì esiste già un uso più diffuso di queste tecniche di coltivazione, ma parallelamente puntiamo a far crescere il nostro business anche in Italia e in Europa. Puntiamo a sfruttare alcune collaborazioni che abbiamo "coltivato", è il caso di dire, nel corso degli anni in cui abbiamo effettuato diversi test. Tra queste ci sono alcune aziende produttrici di nutrienti e

i clienti potranno acquistare i nostri prodotti tramite i distributori. L'idea è quella di rivolgerci a chi già coltiva fuori suolo, aiutandolo a semplificare il lavoro con le nostre tecnologie, puntiamo inoltre ad attrarre un target fatto da agricoltori tradizionali o anche persone curiose che vorranno far crescere in casa o in ufficio le proprie piante, garantendogli il cento per cento del controllo sulla loro crescita.

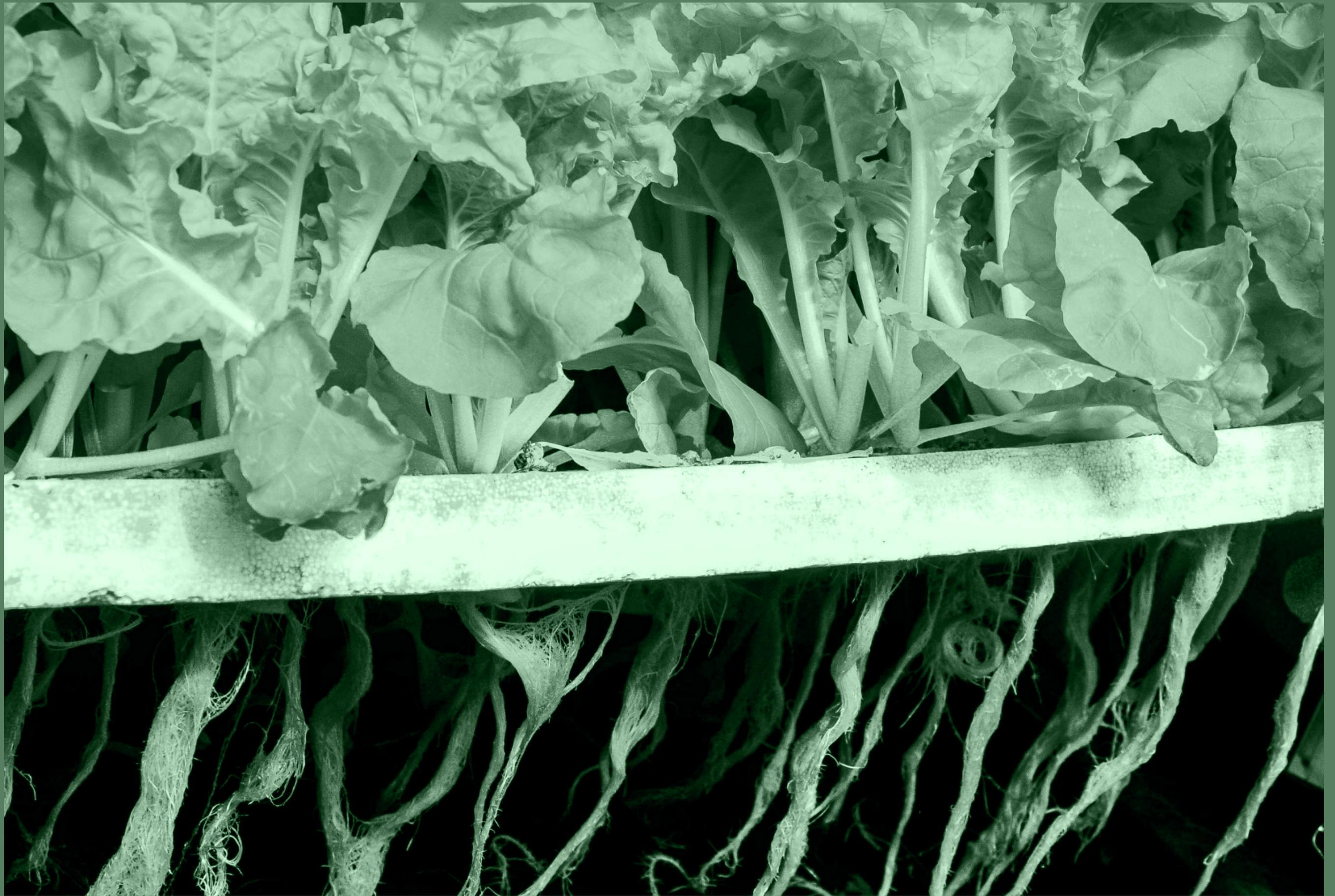
Qual è, secondo voi, l'aspetto più innovativo che contraddistingue la vostra azienda e il vostro prodotto?

Il valore aggiunto dei nostri prodotti sta nella ricerca e sviluppo che abbiamo svolto nel tempo e ci ha portato a sviluppare 4 brevetti, depositati in diversi paesi, di cui uno in licenza dai nostri investitori. Abbiamo puntato su sistemi che siano semplici e standardizzabili

nell'installazione, su un prodotto che accompagnerà i coltivatori dalla semina al raccolto. Non ci si dovrà più preoccupare di nulla, se non di controllare il nostro gestionale per conoscere i parametri dell'acqua di coltivazione, fornendo alle piante ciò che gli manca.



Noi di Wallfarm crediamo nell'innovazione e nella necessità di contaminazione tra nuove aziende e grandi player sul mercato. Entro la fine dell'anno contiamo di commercializzare i nostri prodotti, continuando la nostra esplorazione riguardo gli ambiti di applicazione della nostra tecnologia, cercando di aiutare quanti più mercati possibile. Crediamo che sia importante instaurare un rapporto di scambio e apprendimento continuo. Se volete entrare in contatto con noi scriveteci a info@wallfarm.bio



PARTE TRE

STRATEGIE INNOVATIVE PER UN'AGRICOLTURA PIÙ SOSTENIBILE



**APPROCCI EFFICACI
NELLA RIDUZIONE
DELL'IMPATTO
DELLA PRODUZIONE
AGRICOLA**





Il settore agroalimentare rappresenta circa 1/3 delle emissioni globali. Gli effetti dei cambiamenti climatici in corso stanno già colpendo la sicurezza alimentare a causa dell'aumento delle temperature, dei cambiamenti nell'andamento delle precipitazioni e nella maggiore frequenza di eventi meteorologici estremi. Di fronte a queste sfide il settore ha l'opportunità storica e le capacità di passare dall'essere uno dei maggiori emettitori di gas serra a settore chiave per la decarbonizzazione.

Carbonsink è una società di consulenza che accompagna le aziende nella strategia climatica. Da gennaio 2022 entra a far parte di South Pole, formando il più grande gruppo al mondo per soluzioni e progetti di riduzione delle emissioni climatiche. Carbonsink fornisce consulenza nei settori di *carbon management*, *carbon neutrality* e strategia *net-zero*, attraverso lo sviluppo e la valorizzazione di progetti in grado di generare crediti di carbonio certificati secondo i principali standard internazionali.

Cambiamenti climatici e settore agroalimentare

Il settore agroalimentare rappresenta oltre un quarto delle emissioni globali di gas serra. **Industrie come allevamento, pesca e agricoltura appartengono infatti alla categoria dei cosiddetti heavy emitters, attori che, per le loro articolate reti di approvvigionamento di materie prime e filiere complesse, emettono un quantitativo di emissioni più significativo rispetto a altre industrie produttive.**

Gli effetti dei cambiamenti climatici in corso stanno già colpendo la sicurezza

alimentare a causa dell'aumento delle temperature, delle alterazioni nell'andamento delle precipitazioni e nella maggiore frequenza di eventi meteorologici estremi. Cambiamenti che, in un circolo vizioso, rendono i sistemi alimentari, e le complesse catene di approvvigionamento su cui essi si fondano, sempre più vulnerabili.

Nonostante nell'ultimo decennio l'attenzione sui sistemi alimentari, sulla gestione del suolo e sul sequestro di



carbonio da parte dell'agricoltura sia aumentata, e sempre più aziende e Paesi si siano impegnati a raggiungere zero emissioni nette entro il 2050, è anche cresciuta la consapevolezza della necessità di accelerare il passo se vogliamo preservare l'ecosistema naturale da cui noi tutti dipendiamo. In questo contesto di lento progresso verso un *food system* più sostenibile, il settore agro-alimentare continua a presentare evidenti criticità. Spinta a produrre di più a costi più bassi, l'agricoltura intensiva su larga scala ha comportato gravi ripercussioni sui nostri ecosistemi, causando una rapida **deforestazione delle regioni tropicali e l'aumento vertiginoso delle emissioni di carbonio.** Inoltre, l'uso smisurato di fitofarmaci e le monocolture stanno contaminando e impoverendo le fonti d'acqua, causando l'erosione del suolo e, in alcuni casi, distruggendo interi habitat naturali, con conseguenze sfavorevoli anche per la nostra specie. Proprio a causa di queste pratiche non lungimiranti, l'agricoltura continua a essere una delle maggiori minacce alla biodiversità. Lo scrutinio sul settore rimane altissimo. Se da un lato aziende agroalimentari e gli stessi agricoltori sono sottoposti a sempre **maggiori pressioni da parte degli enti regolatori, consumatori e investitori** per ridurre e rimuovere le emissioni derivanti dalle loro attività lungo la filiera, dall'altro si spinge per incentivare gli **investimenti in pratiche agricole sostenibili, resilienti e rigenerative.** Un'azione duplice che racchiude in sé l'enorme – e finora quasi inutilizzato – potenziale dell'*agri-food*, settore fondamentale per affrontare le crisi globali e interconnesse del clima, della biodiversità e dell'alimentazione.



Il settore agroalimentare a sostegno della decarbonizzazione

Di fronte alle sfide poste dai cambiamenti climatici in atto, il settore presenta un'opportunità unica, che lo distingue dagli altri settori produttivi. L'agroalimentare, che comprende anche l'agricoltura, la silvicoltura e altre gestioni del suolo, ha infatti l'opportunità storica e le capacità di passare dall'essere uno dei maggiori emettitori di gas serra a settore chiave per la decarbonizzazione: da **net carbon emitter** a **net carbon sink**, diventando un importante serbatoio per catturare e sequestrare le emissioni, potendo di fatto assorbire dall'atmosfera più gas serra di quanto ne rilasci. Proprio in virtù di questo potenziale intrinseco e dell'enorme influenza delle

aziende agroalimentari sulle loro catene di approvvigionamento, è chiaro che le aziende del *food* abbiano un ruolo fondamentale nella lotta al cambiamento climatico.

È fondamentale, dunque, che le aziende agroalimentari imparino a sfruttare il loro enorme potenziale in ottica di sostenibilità e resilienza nel medio-lungo periodo, adottando approcci più lungimiranti e ripensando il loro business come parte integrante nel percorso di transizione ecologica.

Come può il settore agroalimentare diventare un punto di riferimento per affrontare la crisi globale legata al clima, alla biodiversità e alla sicurezza alimentare?

“La lotta ai cambiamenti climatici passa anche dal modo con cui produciamo gli alimenti che consumiamo. A livello aziendale, misurare e conoscere l'impatto della propria filiera produttiva è il primo step per la definizione di una robusta strategia climatica. Solo così è possibile porsi degli obiettivi di mitigazione allineati con la scienza e monitorarne i progressi”.

Davide Tonon, Technical Lead - Food & Agro Value Chain, Carbonsink

Innovare al passo con la natura

La filiera complessa e altamente impattante del *food* si presta a molteplici interventi di riduzione in base al tipo di industria, azioni che, se inserite in una strategia climatica robusta e coerente, possono massimizzare la performance ambientale delle aziende nel breve periodo, puntando verso il *net-zero* nel prossimo futuro. **Interventi puntuali**

sulle reti di approvvigionamento come uso di energia, gestione della plastica e packaging sono da leggersi, dunque, all'interno di un più ampio ripensamento dei prodotti e delle modalità di produzione e logistiche. Andare oltre il business usuale diventa così l'unica strada percorribile, necessaria per affrontare le sfide che ci troviamo davanti.

Plastica e packaging sostenibile

Oltre a essere un'importante fonte di emissioni, gli imballaggi contribuiscono alla produzione di rifiuti e spesso all'inquinamento da plastica. Alcuni interventi implementabili lungo le filiere per mitigare questa problematica sono il passaggio a imballaggi a basse emissioni, ad esempio sostituendo la plastica con il cartone o incorporando imballaggi riciclabili o riciclati. Ripensare il prodotto e il packaging significa non solo ridurre le emissioni ma anche ridurre i costi. Prodotti innovativi come i **just add water**, ovvero prodotti solidi o realizzati solo con i principi attivi, che lasciano al consumatore il compito di aggiungere l'acqua (per esempio saponi e detergenti), si stanno diffondendo rapidamente. Un'altra area di azione dove si abbattano sia le emissioni che i costi è il ripensamento degli ingredienti, riducendo o eliminando ingredienti di origine animale e sostituendoli con in-

gredienti vegetali aventi un impatto ambientale più basso. Significativamente, **l'approvvigionamento sostenibile delle materie prime può ridurre le emissioni totali associate al consumo di almeno il 10%.**



Logistica e energia rinnovabile

L'energia è il fondamento dello sviluppo economico e contribuisce per oltre il 70% alle emissioni globali. Ogni settore, attraverso il suo utilizzo, può quindi svolgere un ruolo nel favorire un'economia sostenibile. Le filiere complesse e energivore del settore agroalimentare si prestano a molteplici interventi in linea con la transizione all'energia pulita come la generazione autonoma di energia eolica o solare e l'acquisto di certificati di energia rinnovabile. Il giusto mix di queste soluzioni, che peraltro sono già disponibili e largamente utilizzate, offre un'alternativa sicura e conveniente per le aziende produttive del settore. In questo contesto, anche la logistica gioca un ruolo importante. Le catene

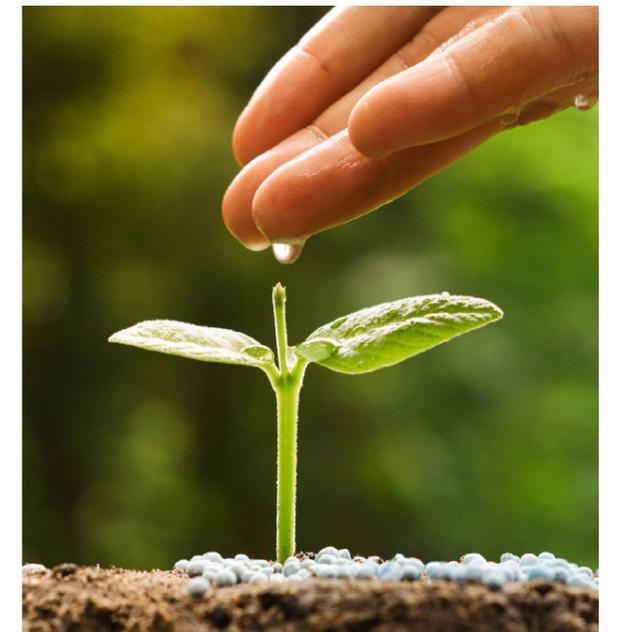
di fornitura del food sono spesso geograficamente frammentate e il trasporto degli alimenti copre spesso lunghissime distanze. Emissioni derivanti dal trasporto su camion, treni, navi e aerei si sommano alle perdite di gas refrigerante utilizzato nel trasporto per mantenere i cibi freschi – un sistema delocalizzato e insostenibile. Oltre a soluzioni e innovazioni nel campo dei veicoli zero-emissioni, **il settore deve necessariamente tendere verso una maggiore localizzazione di tutti gli ingranaggi del sistema alimentare**. Coltivazione, produzione e vendita dei prodotti devono realizzarsi **in chiave locale**, parte di un approccio più in sincrono con i ritmi naturali delle stagioni e della biodiversità legata al territorio.



Agricoltura rigenerativa

Il potenziale per convertire i terreni agricoli in pozzi di carbonio è enorme: si stima che a livello globale la materia organica del suolo contenga quasi quattro volte più carbonio dell'atmosfera o della vegetazione terrestre. Non è un caso che negli ultimi anni si stia affermando una nuova pratica che potrebbe rivoluzionare il settore e guidarlo verso la decarbonizzazione necessaria per raggiungere gli obiettivi sanciti dall'Accordo di Parigi sul clima - limitare il riscaldamento globale a 1.5°C rispetto ai livelli preindustriali - e sostenere uno sviluppo sostenibile, equo e inclusivo. Stiamo parlando della cosiddetta **agricoltura rigenerativa**. Anche se a oggi non esiste una definizione univoca del termine, con agricoltura rigenerativa ci si riferisce a **un insieme di pratiche olistiche di gestione del territorio incentrate sulla creazione di suoli sani e ricchi di carbonio attraverso un ripensamento del sistema agricolo in modo da lavorare con la natura e per la natura**. L'agricoltura rigenerativa migliora la biodiversità e lo stoccaggio naturale del carbonio permettendo alle aziende agricole di produrre alimenti di alta qualità e ricchi di sostanze nutritive, con effetti positivi sull'intero ecosistema. L'agricoltura rigenerativa propone un ritorno ad un approccio che un tempo era comune: si tratta del paradigma opposto all'agricoltura intensiva, dove viene massimizzata la produzione anche a discapito della fertilità del terreno, con grandi costi ambientali. L'obiettivo delle pratiche di agricoltura rigenerativa è quello di proteggere e arricchire, anzi-

ché impoverire, le risorse naturali. Molte delle comuni pratiche agricole rigenerative sono basate su metodi tradizionali che sono stati usati per migliaia di anni, tra cui: **lavorazione minima del suolo prima della semina, riduzione dell'utilizzo di pesticidi e fertilizzanti, utilizzo di colture di copertura e rotazione delle colture**. Il raggiungimento di obiettivi climatici aziendali attraverso pratiche rigenerative può aiutare a affrontare i crescenti rischi fisici legati al clima: dalla siccità che riduce il rendimento delle colture, alla mitigazione degli incendi che le distruggono completamente. Aiutando i proprietari terrieri, gli agricoltori e i fornitori nel passaggio ad una gestione sostenibile del territorio e all'utilizzo di soluzioni basate sulla natura, si contribuisce all'adattamento globale al clima, proteggendo al contempo le catene di approvvigionamento dagli effetti del riscaldamento del pianeta.



L'importanza di una strategia climatica solida

Per un approccio coerente e sostenibile, gli investimenti in tecniche di agricoltura rigenerativa e gli interventi di riduzione delle emissioni lungo la filiera dell'agri-food devono essere integrati in una solida strategia climatica azien-

dale. L'obiettivo infatti è quello di ridurre e mitigare le emissioni dirette e indirette lungo tutta la filiera, dall'approvvigionamento di materie prime, alla produzione, fino alla distribuzione.

La Roadmap Carbonsink

Carbonsink, da Gennaio 2022 parte di South Pole, con cui forma il più grande gruppo al mondo per soluzioni e progetti di riduzione delle emissioni climatiche, suggerisce una roadmap per le aziende dell'agroalimentare che si compone di cinque passi fondamentali attraverso cui costruire una strategia climatica solida, che apporti valore al *core business* e ne aumenti la competitività e resilienza.

- **Misurazione** – Per capire dove ci si trova, si parte sempre dalla misurazione dell'impronta carbonica di un'azienda attraverso l'analisi delle emissioni riconducibili alla sua filiera. La fonte principale di emissioni per le aziende del *food* è *on-farm*, emissioni derivanti prevalentemente dall'allevamento del bestiame, alterazioni nella gestione del suolo e uso di fertilizzanti. Questa analisi è fondamentale per capire dove intervenire per ridurre le emissioni.
- **Definizione del target** – In base ai risultati della misurazione, si sceglie un *Science Based Target* che guiderà l'azienda lungo il percorso di riduzione.
- **Riduzione** – Uno degli approcci fondamentali per ridurre le emissioni lungo la filiera è quello di andare oltre il *business as usual* e ripensare i propri prodotti e il packaging, un approccio *win win* che riduce anche i costi. Gli investimenti in pratiche di agricoltura rigenerativa, gestione sostenibile della plastica e packaging e uso di energia rinnovabile si inseriscono in questo ventaglio di possibili interventi per ridurre le emissioni.
- **Compensazione** – Per implementare un'azione concreta per il clima, le aziende agroalimentari, oltre a ridurre le proprie emissioni in linea con la scienza, possono anche compensare l'impatto delle loro emissioni residue attraverso crediti di carbonio che finanziano impatti misurabili sull'ambiente e le comunità e sono certificati da standard credibili e indipendenti.
- **Comunicazione** – La rendicontazione delle proprie iniziative *green* è fondamentale per rispondere alle sempre crescenti aspettative di consumatori, investitori e enti regolatori che scrutinano l'industria food.

La leadership dell'agroalimentare verso un futuro sostenibile

È giunto il momento di cambiare le regole nel settore agroalimentare e andare oltre il *business as usual*. Anche l'UE ha preso atto dell'urgenza di trasformare l'agricoltura da problema a soluzione climatica e ha sviluppato *Farm to Fork* per promuovere la certificazione degli assorbimenti di carbonio nel contesto del **Green Deal** europeo. Ma il movimento va ben oltre l'Unione Europea e evidenti segnali suggeriscono l'intensificarsi di regolamentazioni, obiettivi e requisiti sempre più stringenti sulle emissioni per le aziende operanti nel settore. Questa tendenza si riflette anche nell'aumentata consapevolezza da

parte dei consumatori, la cui sensibilità verso tematiche ambientali è elevata e ne determina spesso le scelte. Quando una grande azienda agroalimentare si muove, un intero sistema di valore si muove con lei. **È dunque fondamentale che le aziende dell'agri-food imparino ad agire in un contesto climatico in continua evoluzione e ripensino il loro modello di business**, i loro prodotti e la loro strategia in ottica più lungimirante. Il settore è pronto per un cambiamento strategico che raccolga la sfida climatica e posizioni l'industria food in testa al movimento verso un futuro più sostenibile per il nostro pianeta.

“Il mondo del food ha sempre lavorato sulla filiera, la novità è interpretarla in termini di impatto ambientale e di realizzare come qualità e sostenibilità siano strettamente legate. In questo percorso di misura e miglioramento, Carbonsink ha supportato diverse realtà sia multinazionali, come Nestlé, sia locali, come Bio Hombre, accompagnandole nell'individuazione e definizione di opportunità per un cambiamento strategico dagli evidenti benefici per l'ambiente e per l'azienda”.

Ilaria Mantegazza, Key Account Manager, Carbonsink

A tractor is shown in a field, likely engaged in agricultural work. The tractor is positioned in the middle ground, facing towards the right. The field is filled with rows of crops, possibly corn or a similar grain. The tractor has a canopy and large rear wheels. The overall scene is in a natural, outdoor setting.

SITOGRAFIA

1. South Pole - <https://www.southpole.com/>
2. Carbonsink - <https://carbonsink.it/>
3. FAO – <https://www.fao.org/>
4. UN Foundation - <https://unfoundation.org/>



**Ogni mese organizziamo webinar
con esperti del settore.
Approfondisci dai migliori
professionisti, imprenditori,
startupper e accademici!**



Marco Ciarletti

Founder & CEO di Soonapse. Account Manager con oltre 25 anni di esperienza in grandi aziende IT. Autore del brevetto Soonapse sui metodi di AI di Ploovium®. Incluso da FairForce (Finlandia) fra i 100 "che hanno avuto un impatto significativo sulla sostenibilità nel loro settore a livello globale". Membro dell'Environment Committee del World Innovation and Change Management Institute (Svizzera).

SOONAPSE Predictive optimization of resources, in time



Soonapse è una PMI Innovativa romana che si occupa di Intelligenza Artificiale e *Internet of Things*. Il suo *core business* è rappresentato da servizi informatici. Abbiamo sviluppato una piattaforma di intelligenza artificiale per l'ottimizzazione predittiva delle risorse nel tempo. Nel settore AgTech abbiamo applicato questa piattaforma alla *Smart Irrigation*, con il nostro servizio Ploovium® che affronta il problema del risparmio idrico. Oltre il 70% dell'acqua disponibile è utilizzata in agricoltura, ma a causa di sistemi e metodi di irrigazione non adeguati ne viene sprecata oltre le metà, per questo qualsiasi intervento che miri a una effettiva riduzione del consumo idrico globale deve passare per l'agricoltura. Ploovium® è una soluzione cloud, accessibile da qualsiasi dispositivo, viene offerta come *subscription* annuale e non necessita di alcuna installazione di software.

A causa del cambiamento climatico in atto non è più possibile programmare l'irrigazione per un periodo di tempo prolungato. Qual è la vostra soluzione a questa necessità?

In risposta al problema del cambiamento climatico, i sistemi di irrigazione si sono molto evoluti negli ultimi decenni e l'introduzione dei **sistemi di irrigazione a goccia** permette in molti casi un uso attento della risorsa idrica, mentre non si può dire lo stesso dei metodi di irrigazione, per la gran parte ancora legati a tabelle agronomiche definite quando i ritmi delle stagioni erano sensibilmente più stabili. Negli ultimi decenni, infatti, si registra **un'estrema variabilità di ogni stagione e l'aumento degli eventi estremi legati al ciclo dell'acqua** (piogge torrenziali, alluvioni, tempeste, ecc...) dilavano il suolo e non permettono all'acqua di penetrare nel suolo per nutrire le colture a causa della sua velocità di scorrimento. Chiaramente, in questo scenario, non è più possibile affidarsi a metodi tradizionali di irrigazione, per questo **la nostra soluzione si propone di prevedere il comportamento idrico di ogni sistema suolo/coltura nei successivi cinque giorni, fornendo un consiglio irriguo preciso in anticipo** per dare tempo alle aziende agricole di organizzare il turno irriguo. Parliamo di un livello di precisione della predizione del 99%! Si

parla di "sistema suolo/coltura" perché il **bilancio idrico** - il dato che ci dice quanto la coltura si sta avvicinando alla soglia di stress idrico e quando intervenire con l'irrigazione - è il prodotto delle interazioni fra coltura (tipo di coltura e fase fenologica), suolo (con la sua specifica tessitura a vari strati) e ambiente (geolocalizzazione, esposizione, altitudine). Per rispondere all'urgente necessità di ostacolare il cambiamento climatico abbiamo imparato ad **anticipare le necessità di ogni campo e coltura, in modo da intervenire con l'irrigazione solo quando serve e con la corretta quantità di acqua**, senza sprecarne una goccia ma mantenendo sempre in sicurezza la coltura, grazie ad un monitoraggio continuo e in tempo reale delle sue condizioni. Tutto questo apre nuovi scenari di gestione delle colture e delle risorse idriche.

ploovium

In agricoltura l'irrigazione è l'attività più onerosa, ma è allo stesso tempo decisiva per la gestione della qualità e della salute delle colture. In che modo Ploovium permette di arginare i costi tradizionalmente legati all'irrigazione?

Ploovium® permette un risparmio idrico che mediamente va dal 30% al 50%, ma incide anche sui costi generali di irrigazione, che sono generalmente molto più alti di quelli dell'acqua. Conoscendo in anticipo e con sicurezza quando una specifica coltura si avvicinerà alla soglia di stress idrico, Ploovium® fornisce con giorni di anticipo l'indicazione di quando irrigare e di quanta acqua erogare. **La quantità di acqua consigliata è quella necessaria per arrivare alla "capacità di campo"**, ovvero il livello ottimale per cui la coltura è in grado di utilizzare tutta l'acqua disponibile senza sprechi. Irrigare fino a saturazione del suolo è infatti inutile, in quanto la quantità di acqua eccedente viene assorbita dal terreno senza che la coltura possa utilizzarla, e spesso dannoso perché rischia di creare danni all'apparato radicale. Inoltre **Ploovium®, a seconda della tipologia di sistema di irrigazione, ottimizza il numero di turni di irrigui a cui sono**

fortemente connessi i costi generali di irrigazione. Essi, infatti, comportano impegno di personale, costo di carburanti ed elettricità, manutenzione di mezzi agricoli e di sistemi di irrigazione.



Qual è il processo di funzionamento della vostra tecnologia?

Ploovium® è una soluzione AI/IoT e ha bisogno di rilevare i dati in campo tramite dispositivi, normalmente una stazione meteo per azienda agricola e un *datalogger* con sensori del suolo per ogni "zona". Quando si parla di "zona" ci si riferisce genericamente alla porzione di campo servito da uno specifico impianto (o valvola) di irrigazione. **Il primo passaggio è la configurazione dei campi e delle colture, effettuato in modo molto semplice anche con il nostro supporto.** A seguito di questo passaggio, con il quale andiamo a disegnare il perimetro dei campi coltivati e la loro localizzazione geografica, provvediamo a **geolocalizzare le previsioni meteo esattamente su quel punto.** Poi si procede all'**installazione dei dispositivi** che giungono all'azienda agricola già connessi con Ploovium®. È sufficiente posizionare i sensori nel suolo alla profondità suggerita in base alla coltura da monitorare e accendere i dispositivi collegando la batteria. A questo punto, i dati cominciano a essere raccolti su Ploovium® che fornirà ogni giorno i dati predittivi sul comportamento idrico della coltura nei successivi 5 giorni e il relativo consiglio irriguo (Fig. 1). **L'azienda agricola, o l'agronomo, può seguire l'andamento della coltura con dati aggiornati ogni ora** e intervenire, se lo ritiene, modificando i turni di irrigazione o i parametri colturali. A fronte di ogni intervento Ploovium® ricalcola tutti i dati e offre il nuovo consiglio irriguo aggiornato.

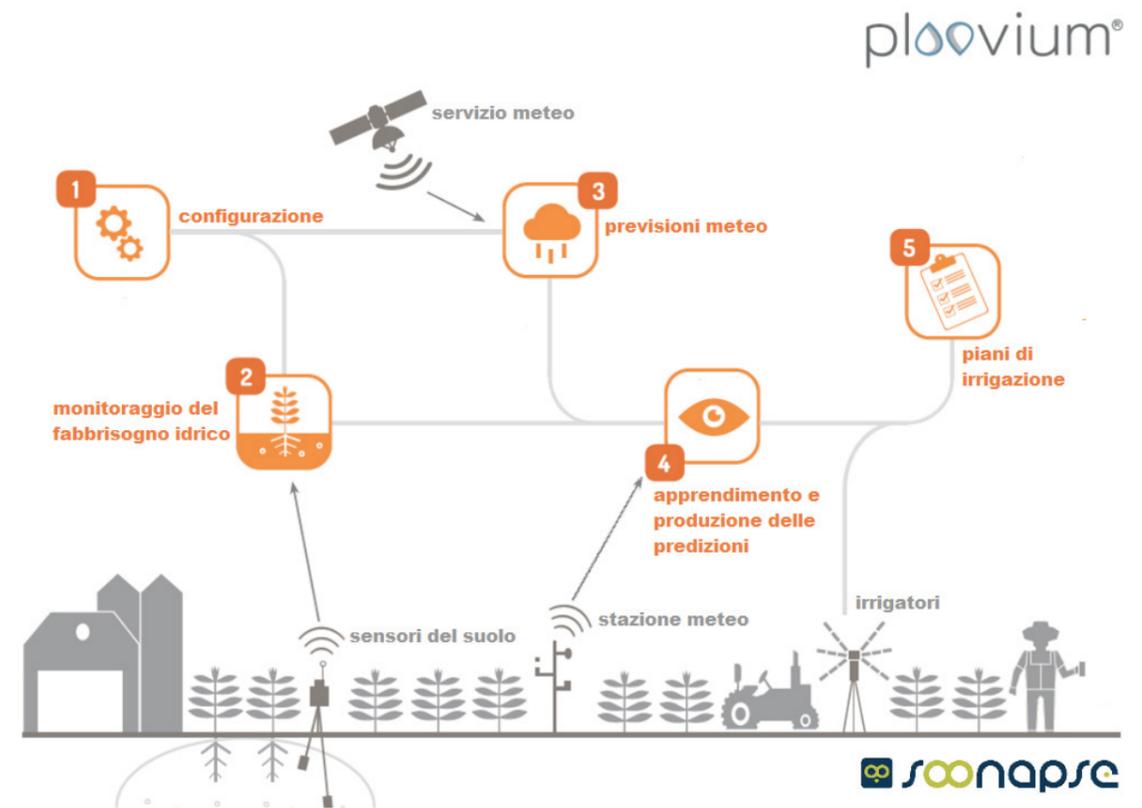
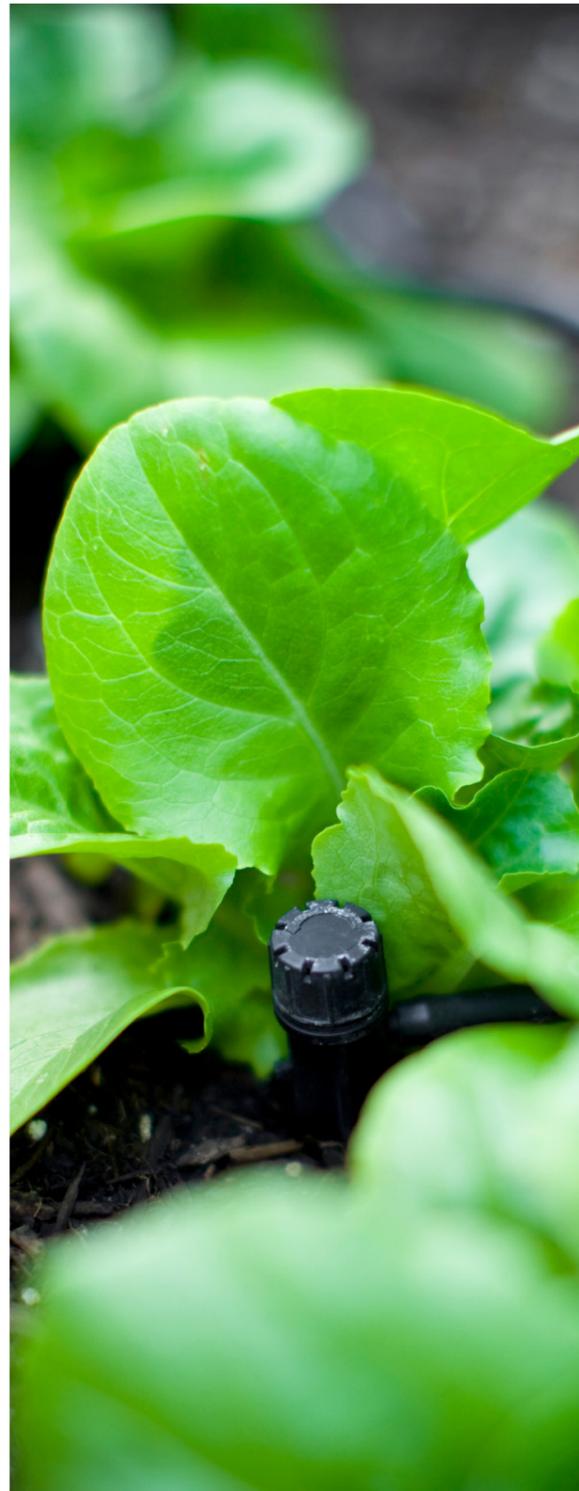


Fig. 1 - Workflow di Ploovium®.

A quale target di clienti vi rivolgete?

Il nostro target è rappresentato dalle aziende agricole, dalle associazioni di coltivatori dalle OP e dalle cooperative agricole, aziende di chimica verde, ma anche enti di ricerca e università. Abbiamo fatto in modo di rendere l'innovazione alla portata delle piccole e medie aziende agricole grazie alla capacità di Ploovium® di lavorare senza effettuare costose analisi preventive sulla tessitura del terreno. Ploovium® è adatto a qualsiasi coltura, in qualsiasi terreno e, nel momento in cui sia necessario adoperarlo per nuove coltivazioni, riusciamo

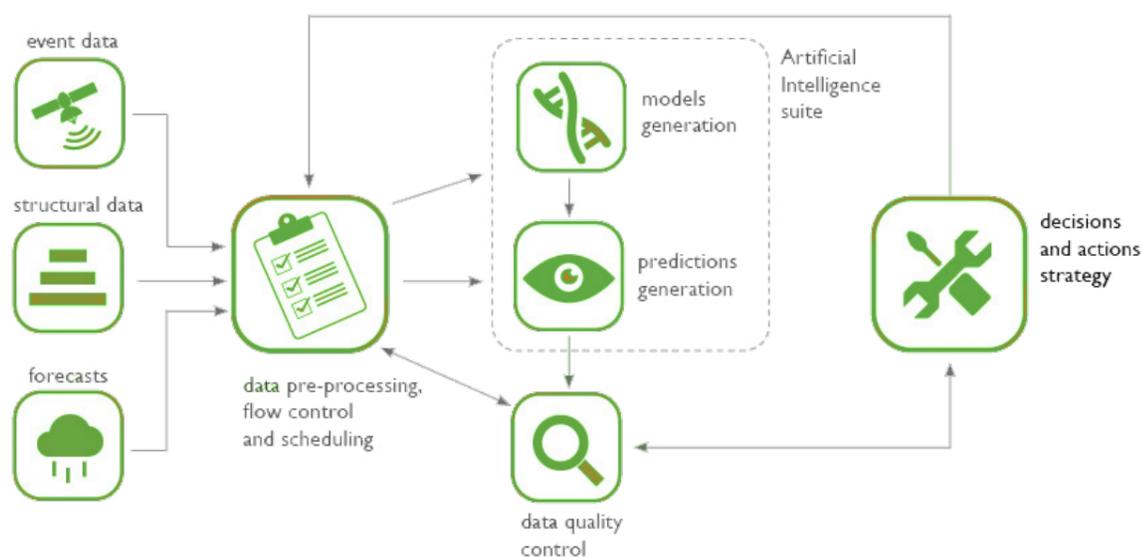
facilmente a creare una nuova tabella agronomica in pochi giorni.



Qual è, secondo voi, l'aspetto più innovativo che contraddistingue la vostra azienda e il vostro prodotto?

Abbiamo scelto di concentrarci e specializzarci sul monitoraggio dell'irrigazione, diventando esperti anche a livello internazionale. Nel 2021, per i metodi di Intelligenza Artificiale utilizzati per Plovium®, abbiamo ottenuto il Brevetto italiano e ne abbiamo già effettuato il deposito in UE, USA, India ed Israele **Le 11 rivendicazioni che compongono il no-**

stro brevetto hanno tutte ottenuto la tripla validazione da parte di EPO (Ufficio Europeo Brevetti): originalità, innovatività e applicabilità industriale. Il nostro è un approccio completamente innovativo basato su un metodo originale in grado di fornire informazioni prima non disponibili e con un livello di precisione di assoluta affidabilità



In Italia l'adozione di sistemi AgTech è ancora piuttosto limitata se paragonata agli USA ma anche altri Paesi europei. È necessario continuare a incrementare gli investimenti e i sostegni per questa transizione se non si vuole generare il rischio di portare l'agricoltura italiana fuori mercato.



L'AUTORE

**Giacomo Ferretti**

Ricercatore presso l'Università degli Studi di Ferrara, Dipartimento di Scienze Chimiche, Farmaceutiche ed Agrarie.

La sua attività di ricerca si focalizza sullo sviluppo di nuove tecnologie per il recupero di azoto e fosforo da effluenti di allevamento e sullo studio degli effetti di fertilizzanti innovati sul ciclo dell'azoto nel suolo

ZEOLITI NATURALI IN AGRICOLTURA: DAL TRATTAMENTO REFLUI AL MIGLIORAMENTO DELLA FERTILTÀ DEI SUOLI

L'uso di rocce a elevato contenuto di **zeoliti naturali** in ambito agricolo sta diventando una pratica sempre più comune. Questi minerali, aventi proprietà uniche come capacità di scambiare molecole e gas di varia natura, vengono utilizzati per risolvere diverse problematiche legate agli agroecosistemi. Questo articolo ha lo scopo di riassumere l'esperienza di ricerca dell'Università di Ferrara riguardo l'utilizzo di questo minerale per la salvaguardia e il miglioramento dell'efficienza degli agroecosistemi.



Barbara Faccini

Ricercatrice presso il Dipartimento di Fisica e Scienze della Terra dell'Università di Ferrara, la sua attività di ricerca ha preso le mosse dallo studio del mantello litosferico terrestre, sorgente della maggior parte dei magmi eruttati sulla superficie terrestre. Negli ultimi 10 anni ha spaziato nel campo delle applicazioni delle zeoliti naturali in agricoltura.



Massimo Coltorti

Professore ordinario di Petrologia e petrografia presso il dipartimento di Fisica e Scienze della Terra dell'Università di Ferrara. Autore di più di 200 pubblicazioni principalmente su riviste internazionali ad alto fattore d'impatto. Attraverso gli studi dei depositi vulcanici è arrivato a conoscere i tufi vulcanici ricchi in zeoliti e le loro fantastiche proprietà per una gamma molto estesa di applicazioni.



Giulio Galamini

PhD presso l'Università degli Studi di Ferrara, Dipartimento di Fisica e Scienze della Terra. La sua ricerca si focalizza sull'utilizzo di tecnologie per il trattamento di reflui ad uso agricolo, per il recupero e il riutilizzo dei nutrienti. Indaga inoltre gli effetti che i fertilizzanti ottenuti sortiscono nel suolo e nello sviluppo della pianta, una volta applicati.



Valeria Medoro

Dottoranda presso l'Università degli Studi di Ferrara, Dipartimento di Fisica e Scienze della Terra. La sua attività di ricerca è incentrata sullo studio della tracciabilità di prodotti agroalimentari. Inoltre si occupa dello sviluppo di nuove metodologie per la riduzione dell'impatto ambientale grazie all'integrazione di pratiche agricole più sostenibili che usino geo-materiali di origine naturale.

Introduzione

Ormai è ben noto che nel prossimo futuro la popolazione mondiale è destinata ad aumentare e con essa anche la domanda di cibo. Per far fronte a questa sfida impellente abbiamo il dovere di rendere i nostri agroecosistemi sempre più efficienti e sostenibili. A livello globale, oggi, solo il 55% dell'azoto (N) introdotto nel suolo tramite la fertilizzazione viene convertito in biomassa vegetale, la restante frazione viene persa nell'ambiente. Il ciclo biogeochimico dell'azoto è infatti molto complesso e include una serie continua di trasformazioni spesso biologicamente mediate, che possono portare alla formazione di composti volatili molto dannosi, come

N_2O , NH_3 e NO_x , oppure alla formazione di specie molto mobili come il nitrato (NO_3^-), causando dunque emissioni di gas serra, inquinamento delle risorse idriche oltre che perdite economiche [1]. L' N_2O , ad esempio, è un gas serra che si forma a seguito dei processi di nitrificazione e denitrificazione (incompleta) con un potenziale di riscaldamento globale 300 volte superiore a quello della CO_2 . Allo stesso modo, l' NH_3 è un gas dannoso soprattutto perché concorre alla formazione di ozono a livello del suolo, partecipa all'acidificazione delle piogge e concorre a squilibrare gli ecosistemi una volta che si "deposita" al suolo. È stato dimostrato come queste emissio-





ni derivino principalmente da problemi legati alla gestione di effluenti di allevamento e dalla gestione dei fertilizzanti in ambito agricolo. Molti di questi, che siano effluenti di allevamento, sottoprodotti derivati o fertilizzanti chimici, vedono l'azoto in essi contenuto trasformarsi più o meno velocemente in forme molto mobili come il nitrato. Questa molecola, avendo una carica residua negativa, non viene efficientemente trattenuta dai minerali argillosi del suolo e tende ad accumularsi nelle acque superficiali e sotterranee causando gravi problemi di eutrofizzazione e quindi inquinamento. **Tutte queste perdite di azoto dal sistema si riflettono in ingenti danni ambientali, in sprechi energetici ed economici.**

Il costo energetico (e oggi anche economico per via della guerra in Ucraina) per la produzione di fertilizzanti chimici è infatti enorme e dipende ancora da fonti energetiche non rinnovabili come il gas naturale.

Urge quindi trovare metodologie innovative che ci portino ad aumentare sensibilmente l'efficienza dei fertilizzanti nell'ottica di ridurre le perdite di azoto sopra menzionate, migliorando al contempo la produttività dei nostri agroecosistemi. Queste metodologie devono essere il più possibile naturali e devono portare benefici a lungo termine anche per le generazioni future.

Le problematiche sopra esposte hanno portato infatti ad un costante aumento

dello stato di degradazione dei suoli agricoli sulla Terra (Fig. 1) dove, con il termine "degradazione" si intende la perdita della capacità produttiva di servizi ecosistemici, dunque la capacità di produrre cibo.

Per questi motivi, è necessario cercare di **riciclare l'azoto** e di applicarlo in forme a **"lento rilascio"**, dunque con una cessione più graduale rispetto ai fertilizzanti comunemente utilizzati, in modo che le piante lo possano sfruttare più efficientemente. In questo contesto entrano in gioco le zeoliti: minerali aventi proprietà uniche che trovano ampio sfruttamento in vari ambiti industriali. Molto in breve, le zeoliti sono minerali

caratterizzati da un'impalcatura di tetraedri uniti tra loro, ciascuno costituito da 4 atomi di ossigeno che circondano un catione (atomo avente carica positiva), principalmente di silicio o alluminio. Tale struttura contiene cavità aperte: gabbie e canali nelle quali possono essere "ospitate" molecole di varia natura, tra cui acqua, cationi e anche gas [2,3]. Queste caratteristiche generano **tre principali proprietà tipiche delle zeoliti** (Fig. 1), ossia:

- elevata capacità di scambio cationico;
- disidratazione reversibile;
- setaccio molecolare.

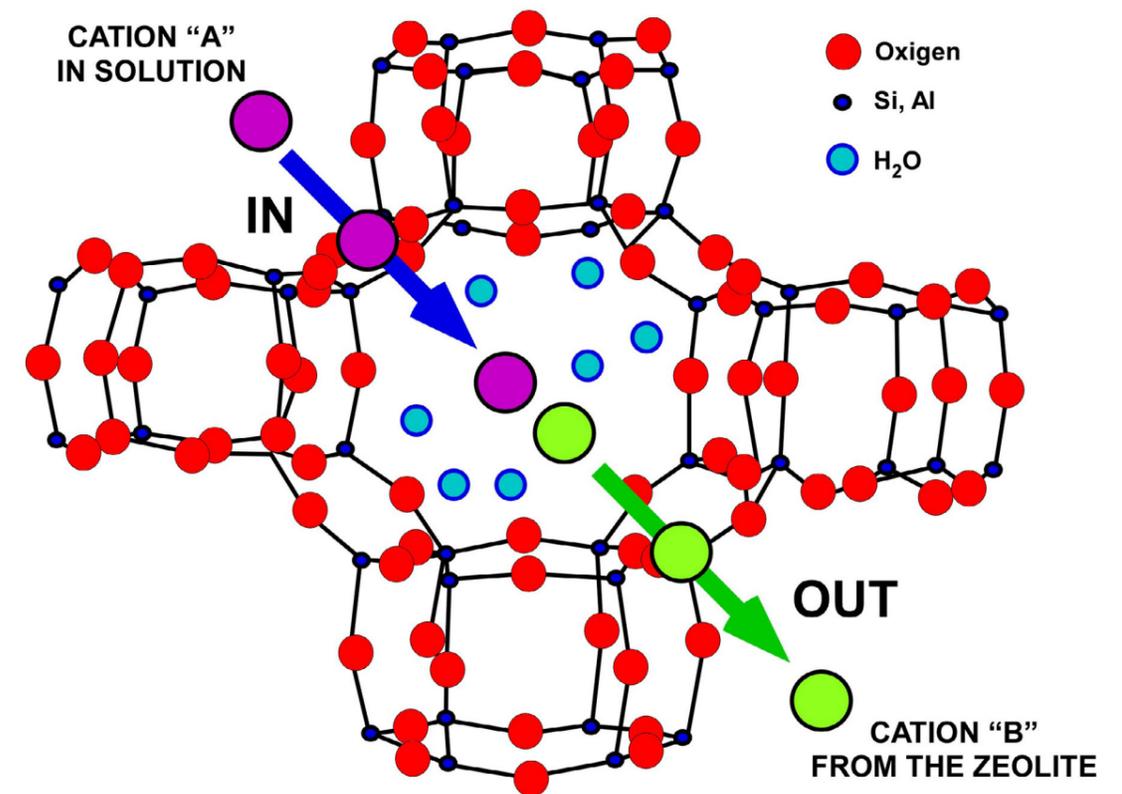


Fig. 1 - Visualizzazione semplificata del processo di scambio cationico operato da una zeolite in soluzione. Immagine modificata da [3].

Risulta quindi chiara la versatilità di questi minerali e quindi il loro ampissimo **utilizzo in molti settori industriali, come per esempio la catalisi degli idrocarburi, la separazione di gas, la purificazione delle acque da vari inquinanti, l'utilizzo nella nutrizione animale, nell'edilizia, nell'alimentazione umana** ecc.

Nonostante esistano zeoliti sia naturali che sintetiche, in questo articolo verranno trattate solamente quelle di origine naturale e in particolare "sedimentarie", ovvero originatesi a seguito dei processi di alterazione di tufi vulcanici. Parte del "vetro" (termine utilizzato per indicare fasi non cristalline, o amorfe all'interno di una roccia) presente nel tufo può infatti ricristallizzare in minerali zeolitici per opera di fluidi circolanti, portando a un arricchimento della roccia fino a oltre il 50% in zeoliti. Se il contenuto supera il 50%, la roccia viene definita tufo zeolitico, o "zeolitite" [4].

Tra le zeoliti naturali, quella più abbondante e ampiamente presente sul mercato è di sicuro la **clinoptilolite**, tuttavia, sul territorio italiano e in molte altre parti del mondo troviamo principalmente la zeolite chabasite (Eng. *chabazite*, CHA), la quale presenta una capacità di scambio cationico superiore alla clinoptilolite (2.16 meq/g vs 3.84 meq/g) [3-5] e dunque una maggiore capacità di assorbire e trattenere molecole ed atomi aventi carica positiva.

In contesto agronomico, le zeolititi possono essere sfruttate in molteplici modi, ma quelli su cui ci soffermeremo in questo articolo saranno principalmente:

- l'utilizzo di zeolititi nel **trattamento di effluenti** di allevamento per riciclare l'azoto sotto forma ammoniacale (NH_4^+) in forme più efficienti a "lento rilascio";

- l'utilizzo di zeolititi come **ammendanti di suoli agricoli** per il miglioramento delle loro caratteristiche chimiche, fisiche e biologiche, la protezione dell'ambiente e il miglioramento delle produzioni.

Nelle prossime pagine verranno riassunte le innovazioni tecnologiche raggiunte dal nostro team di ricerca riguardo queste tematiche.



Zeolititi nel trattamento di effluenti di allevamento e digestati



I liquami animali e i sottoprodotti della produzione di biogas (digestati) sono considerati ottimi fertilizzanti in quanto contengono un'elevata concentrazione di azoto ammoniacale oltre che sostanza organica. Tuttavia, la gestione di questi effluenti non è sempre facile. Talvolta **la produzione eccede la capacità di applicazione al suolo** creando problemi di smaltimento. Spesso, infatti, si sono verificati eventi indesiderati come sversamenti illeciti di liquami in corsi d'acqua superficiale; pratica che può causare seri danni agli ecosistemi acquatici.

Altra problematica estremamente importante è quella dell'**emissione di gas quali l' NH_3 durante lo stoccaggio e a seguito dell'applicazione al suolo**.

Utilizzando le zeolititi è possibile tuttavia **riciclare l'azoto contenuto in questi effluenti in modo tale da stoccarlo all'interno della struttura cristallina del minerale e trasformarlo quindi in forma "solida", trasportabile ed applicabile come fertilizzante a lento rilascio in un secondo momento** [6].

Le ricerche in questo senso sono iniziate con il progetto **ZeoLIFE** (LIFE2010+, ENV/IT000321), ora conclusosi da diversi anni, da cui sono stati messi a punto tre brevetti che riguardano **il metodo di trattamento di effluenti di allevamento e la creazione di zeoliti arricchite in azoto, un prototipo di impianto di trattamento reflui** che sfrutta tale metodo e il più recente e performante metodo (brevetto

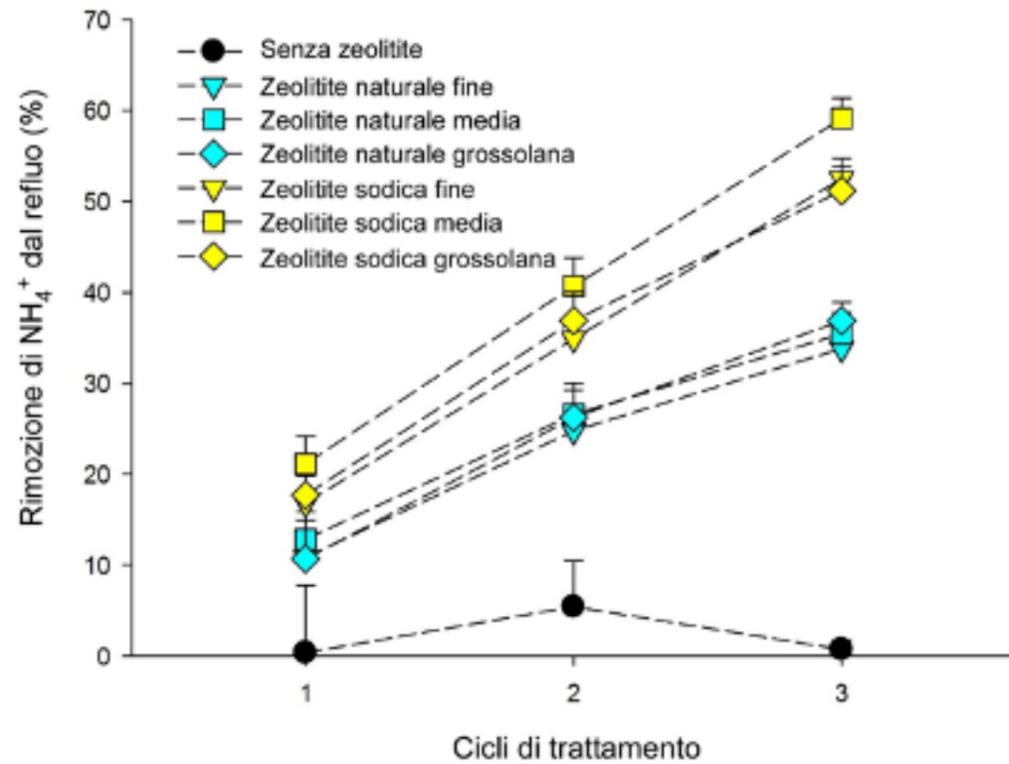


Fig. 2 - Efficienza nella rimozione dell'azoto ammoniacale a ogni ciclo di trattamento con zeolite naturale in taglia fine, media e grossolana e zeolite modificata con sodio in taglia fine, media e grossolana. Immagine tratta da [6].

depositato a livello europeo) che prevede l'utilizzo combinato di zeolite insieme alla precipitazione di altre fasi minerali per il recupero sia di azoto che di

fosforo. Nelle ricerche condotte, alcune delle quali pubblicate su riviste internazionali, è stata utilizzata una zeolite a chabasite proveniente dal centro Italia

Tipologia di zeolite	pH	CE	NH ₄	Na	P	K	Ca	Li	Ba	Rb	Sr
Zeolite naturale	↑	↓	↓	↑	↓	↑	↑	↑	↑	↑	↑
Zeolite arricchita in sodio	↑	↓	↓	↑	↓	↓	↑	↑	↑	↑	↑

Fig. 4 - Effetti dei trattamenti con zeolite naturale e modificata con sodio sul chimismo del refluo trattato. Le frecce azzurre verso l'alto indicano un aumento mentre le frecce viola verso il basso una diminuzione del relativo parametro. CE è la conducibilità elettrica, NH₄, Na, P, K, Ca, Li, Ba, Rb e Sr sono le molecole/elementi ammonio, Fosforo, Potassio, Calcio, Litio, Bario, Rubidio e Stronzio.

[6,7]. Come visibile dalla Figura 2, utilizzando circa il 6% di zeolite è possibile rimuovere una quantità variabile dal 10 a circa il 20 % di azoto ammoniacale da un liquame suino avente concentrazione iniziale di diverse migliaia di mg/L. Ripetendo il trattamento è possibile raggiungere la diminuzione desiderata a seconda delle necessità specifiche.

pre-scambiata in sodio (Fig. 3B) a fronte di una più elevata efficienza nella rimozione di ammonio (Fig. 2) avviene però una rimozione del potassio in soluzione (rimozione di macronutrienti dal refluo) e un aumento del sodio (aumento della tossicità). Volendo riassumere, gli effetti portati dal trattamento con zeoliti naturali o modificate con sodio sul chimismo del refluo sono riassunti in Figura 4. Le zeoliti possono essere utilizzate anche per facilitare la precipitazione di altre fasi minerali contenenti azoto e fosforo in effluenti agricoli. Con questa metodologia è stato possibile di fatto raggiungere, molto velocemente, efficienze nella rimozione di azoto anche di oltre l'80%, risparmiando il 50% di reagenti chimici rispetto ai metodi convenzionali.

Un punto di forza delle zeoliti è che possono essere modificate dal punto di vista chimico prima dell'utilizzo nel trattamento reflui, per aumentarne l'efficienza [6,8]. Per esempio, zeoliti pre-scambiate in sodio sono molto più efficienti nella rimozione dell'azoto ammoniacale, tuttavia presentano effetti collaterali significativi qualora gli effluenti dovessero venire utilizzati a scopi agronomici. In Figura 3, è visibile l'effetto di zeoliti naturali nei confronti del contenuto di sodio residuale in soluzione negli effluenti trattati. Si nota come non vi siano variazioni significative di questi elementi. Nel caso in cui si utilizzi zeolite

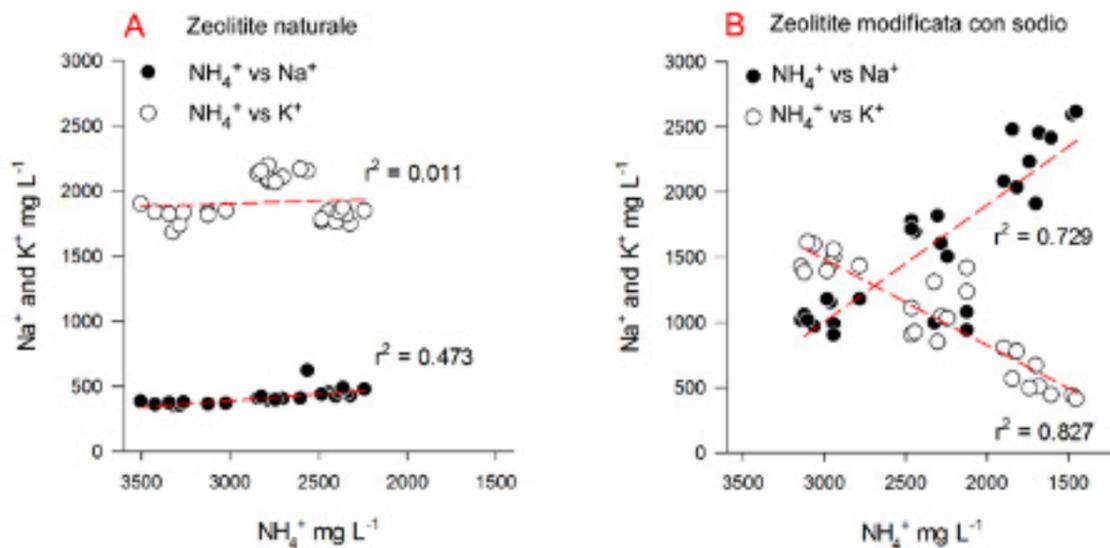


Fig. 3 - A) Effetto di zeoliti a chabasite naturale e B) modificate con sodio, sul contenuto di sodio e potassio del refluo trattato in relazione alla rimozione di ammonio. Immagine tratta da [6].

Zeolititi come ammendanti di suoli agricoli

Le zeolititi, sia allo stato naturale che prodotte a seguito dei processi di trattamento degli effluenti di allevamento (zeolititi cariche in azoto), possono essere utilizzate come **ammendanti di suoli agricoli o substrati di coltivazione per migliorarne le caratteristiche chimico-fisiche e per influenzare positivamente le dinamiche dell'azoto nel terreno** [9-11]. L'aggiunta di zeolititi al suolo, infatti, provoca un aumento della capacità di scambio cationico del terreno, aumentandone quindi la capacità di trattenere acqua e cationi, tra cui troviamo lo ione ammonio, che è il principale elemento contenuto appunto nei reflui

di allevamento e la principale molecola che si forma a seguito dell'idrolisi di molti fertilizzanti chimici nel suolo. Per quanto riguarda l'utilizzo di zeolititi naturali, sono state svolte numerose sperimentazioni nel corso dell'ultimo decennio sia in campo che in laboratorio. Lo scopo di queste sperimentazioni era quello di dimostrare che influenzando le dinamiche dell'azoto nel suolo tramite l'aggiunta di zeolititi sarebbe stato possibile ridurre l'inquinamento e gli sprechi di energia legati alle pratiche di fertilizzazione (Fig. 5). Le prime sperimentazioni, condotte tramite il progetto ZeoLIFE, si sono svolte in un sito

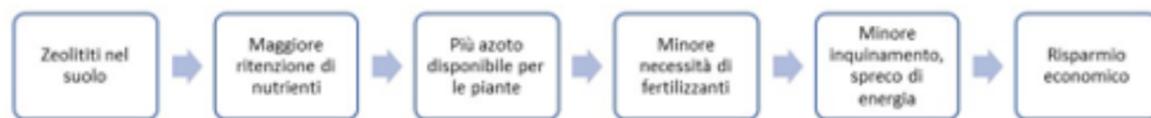


Fig. 5 - Effetti duraturi della zeolite naturale utilizzata come ammendante in suolo.

sperimentale in provincia di Ferrara (Codigoro) dove una quantità variabile tra 5 e 15 kg/m² di zeolite a chabasite è stata aggiunta al suolo. **Il monitoraggio è durato diversi anni su colture di sorgo, mais e grano con apporti di fertilizzanti ridotti fino al 50% rispetto le pratiche convenzionali.** Tra i vari risultati ottenuti da questa sperimentazione si è ottenuta una riduzione del quantitativo di nitrati lisciviati verso le acque superficiali di oltre il 60% rispetto alle pratiche convenzionali. Inoltre le

rese colturali di tutte le parcelle ammendate sono state comparabili al controllo o addirittura superiori (anche di oltre il 20% in taluni casi) nonostante il minore apporto di fertilizzanti [9,12,13]. Per quanto riguarda invece le zeolititi arricchite in azoto ammoniacale dai processi di trattamento descritti sopra, anch'esse trovano spazio tra gli ammendanti in quanto non è possibile raggiungere il titolo minimo di azoto richiesto per l'inclusione nella categoria dei fertilizzanti. Il comportamento a

lento-rilascio di questa tipologia di zeolititi arricchite in azoto è stato studiato in diversi esperimenti [14,15]. Nella Figura 6 sono mostrati gli effetti di un esperimento di lisciviazione dove è stato comparato un suolo sabbioso fertilizzato con tre diverse tipologie di fertilizzante: urea, digestato liquido e zeolite arricchita di azoto proveniente dallo stesso digestato. Nell'esperimento si è fatta percolare acqua di pioggia sintetica lungo una colonna di suolo fertilizzato e le acque di percolazione sono state analizzate 8 volte (su un periodo di oltre 30 giorni) per determinare la quantità e la speciazione dell'azoto lisciviato. **I risultati hanno mostrato chiaramente che mentre nel suolo fertilizzato con urea e digestato liquido praticamente tutto l'azoto aggiunto al suolo è stato perso al primo flussaggio (sottoforma di azoto organico o organico e ammoniacale), se viene utilizzata zeolite arricchita le perdite sono drasticamente ridotte.** Si ottiene invece un rilascio lento e graduale nel tempo con una speciazione dell'azoto molto più bilanciata, che porta ad avere

ancora nel suolo circa **il 30% di azoto** aggiunto con la fertilizzazione al termine dell'esperimento (contro lo 0% delle altre due tesi). L'effetto delle zeolite naturali e arricchite in azoto è stato verificato anche riguardo le emissioni di gas serra a seguito dell'applicazione di urea. Nello studio svolto dal nostro gruppo di ricerca in collaborazione con la University of Natural Resources and Life Sciences di Vienna (BOKU), Istituto IBF, si è visto come le emissioni di ammoniaca siano state drasticamente ridotte (fino ad oltre il 60%) in suoli ammendati con zeolite naturale rispetto a suoli non ammendati [16]. Altri effetti positivi sono stati osservati anche rispetto all'interazione di questi minerali con la biomassa microbica del suolo, dove si è visto che **la presenza di zeolite naturale sembra favorire lo sviluppo di biomassa fungina (indice di minore azoto disperso nel terreno) e in presenza di zeolite arricchita in azoto i microrganismi riescono ad accedere dopo poco tempo all'azoto contenuto nel minerale e di conseguenza anche la pianta** [17].

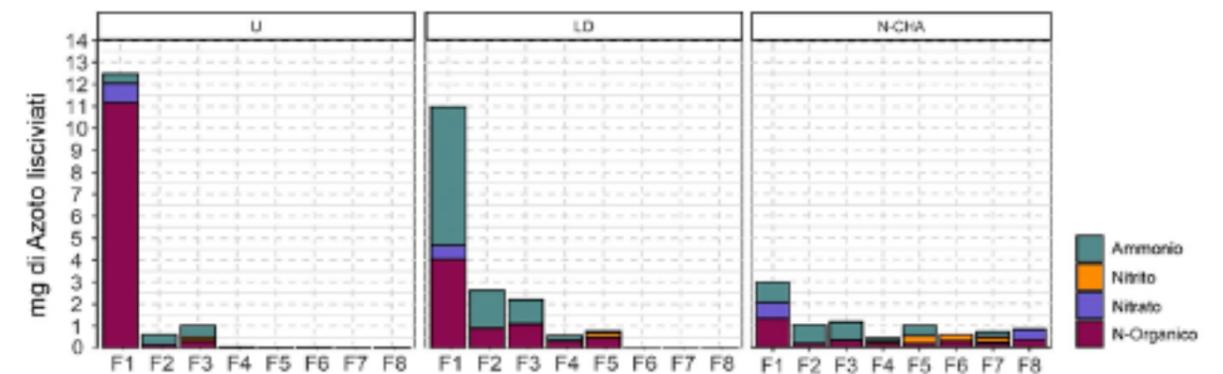
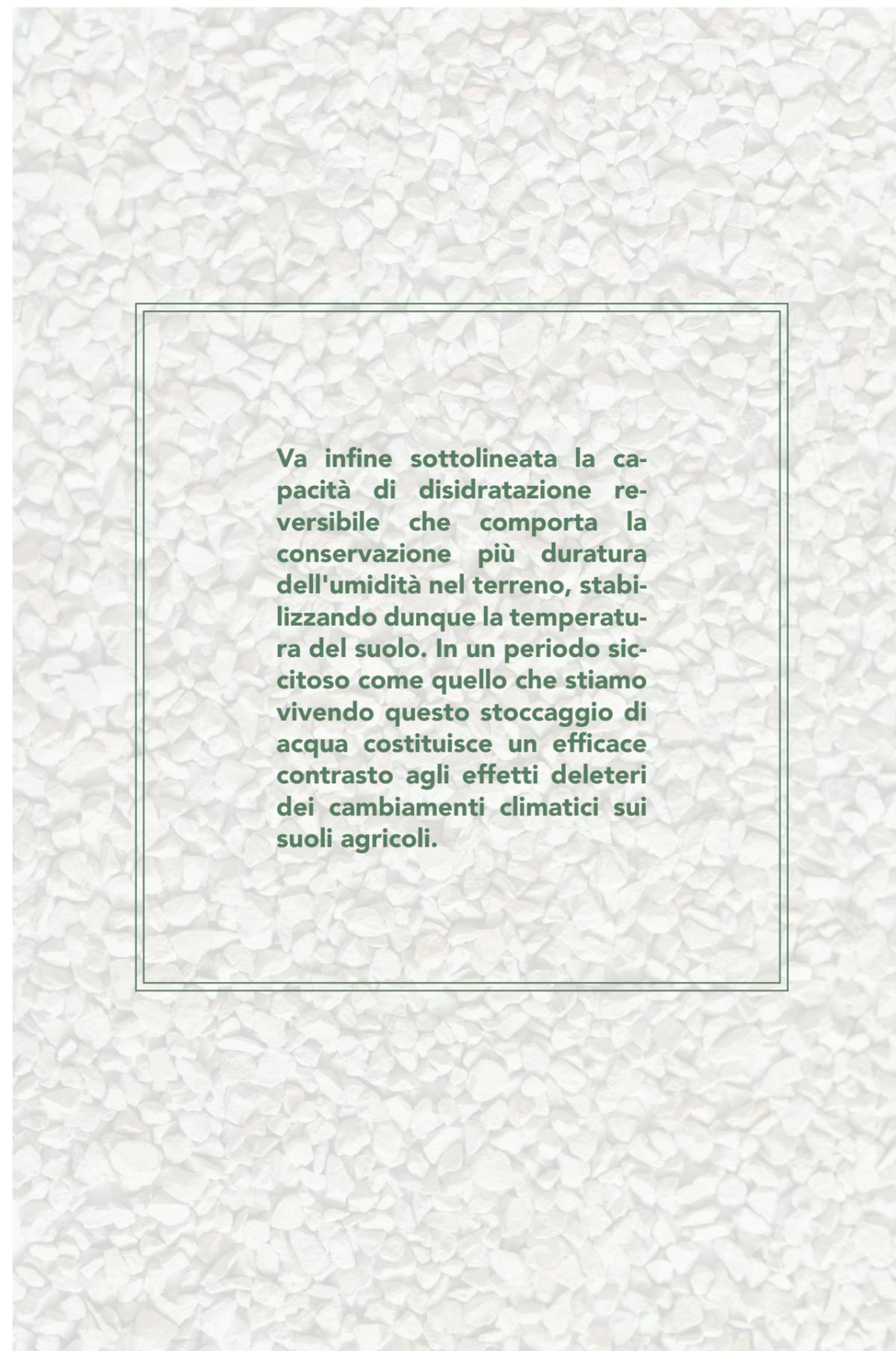


Fig. 6 - Risultati di un esperimento di lisciviazione. Il box U rappresenta suolo fertilizzato con urea, il box LD suolo sabbioso fertilizzato con digestato liquido, il box N-CHA suolo sabbioso fertilizzato con zeolite arricchita in azoto. In asse X (F1-F8) sono rappresentati diversi eventi di lisciviazione, in asse Y si trovano i mg di azoto persi. I diversi colori indicano le diverse tipologie di azoto perso ad ogni evento di lisciviazione.

Conclusione

L'utilizzo di zeolite nel trattamento reflui permette di abbatte il potenziale di inquinamento, recuperando al contempo i nutrienti ivi contenuti in forme facilmente impiegabili per la nutrizione delle colture. L'aggiunta di zeolite nel suolo o nei substrati comporta un aumento dell'efficienza nell'utilizzo dell'azoto, corrispondente a un miglior rendimento produttivo anche a fronte di una significativa riduzione nell'utilizzo dei fertilizzanti; dunque, un notevole risparmio sia energetico che economico,

se si considerano gli elevati costi legati alla produzione dei fertilizzanti chimici. Indubbia è la riduzione dell'impatto ambientale che porta verso un'agricoltura più sostenibile e rispettosa dell'ambiente. **Grazie a questi minerali si possono contemporaneamente ottenere una maggior efficienza del ciclo dell'azoto ai fini della crescita della pianta e una riduzione della fertilizzazione:** c'è infatti una minore dispersione di inquinanti nel suolo e nelle acque sia superficiali che sotterranee.



Va infine sottolineata la capacità di disidratazione reversibile che comporta la conservazione più duratura dell'umidità nel terreno, stabilizzando dunque la temperatura del suolo. In un periodo siccitoso come quello che stiamo vivendo questo stoccaggio di acqua costituisce un efficace contrasto agli effetti deleteri dei cambiamenti climatici sui suoli agricoli.

BIBLIOGRAFIA

1. Drechsel, P.; Heffer, P.; Magen, H.; Mikkelsen, R.; Wichelns, D. *Managing Water and Fertilizer for Sustainable Agricultural Intensification*; IFA, IWMI, IPNI and IPI: Paris, 2015; ISBN 979-10-92366-02-0.
2. Ferretti, G.; Galamini, G.; Deltedesco, E.; Gorfer, M.; Fritz, J.; Faccini, B.; Mentler, A.; Zechmeister-Boltenstern, S.; Coltorti, M.; Keiblinger, K.M. Gross Ammonification and Nitrification Rates in Soil Amended with Natural and NH₄-Enriched Chabazite Zeolite and Nitrification Inhibitor DMPP. *Appl. Sci.* 2021, 11, 2605, doi:10.3390/app11062605.
3. Passaglia, E. *Zeoliti naturali, zeolititi e loro applicazioni*; Arvan, 2008; ISBN 9788887801194.
4. Galli, E.; Passaglia, E. Natural zeolites in environmental engineering. In *Zeolites in Chemical Engineering*; Harald Holzapel, Ed.; Verlag ProcessEng Engineering GmbH, 2011; pp. 392–416 ISBN 3902655089.
5. Polat, E.; Karaca, M.; Demir, H.; Onus, a N. Use of natural zeolite (clinoptilolite) in agriculture. *J. Fruit Ornam. Plant Reserarch* 2004.
6. Ferretti, G.; Galamini, G.; Medoro, V.; Coltorti, M.; Giuseppe, D. Di; Faccini, B. Impact of sequential treatments with natural and na-exchanged chabazite zeolite-rich tuff on pig-slurry chemical composition. *Water (Switzerland)* 2020, doi:10.3390/w12020310.
7. Galamini, G.; Ferretti, G.; Medoro, V.; Tesaro, N.; Faccini, B.; Coltorti, M. Isotherms, Kinetics, and Thermodynamics of NH₄+ Adsorption in Raw Liquid Manure by Using Natural Chabazite Zeolite-Rich Tuff. *Water* 2020, 12, 2944, doi:10.3390/w12102944.
8. Leyva-Ramos, R.; Monsivais-Rocha, J.E.; Aragon-Piña, A.; Berber-Mendoza, M.S.; Guerrero-Coronado, R.M.; Alonso-Davila, P.; Mendoza-Barron, J. Removal of ammonium from aqueous solution by ion exchange on natural and modified chabazite. *J. Environ. Manage.* 2010, 91, 2662–2668, doi:10.1016/j.jenvman.2010.07.035.
9. Ferretti, G.; Faccini, B.; Antisari, L.V.; Di Giuseppe, D.; Coltorti, M. 15N natural abundance, nitrogen and carbon pools in soil-sorghum system amended with natural and NH₄+ -enriched zeolites. *Appl. Sci.* 2019, 9, 4524, doi:10.3390/app9214524.
10. Di Giuseppe, D.; Ferretti, G.; Faccini, B.; Blasi, E.; Passeri, N.; Bianchini, G.; Coltorti, M. Is it possible to cultivate corn in a sustainable way using a quarry waste? *Period. di Mineral.* 2016, 85, 179–183, doi:10.2451/2016PM633.
11. Li, Z.; Zhang, Y.; Li, Y. Zeolite as slow release fertilizer on spinach yields and quality in a greenhouse test. *J. Plant Nutr.* 2013, 36, 1496–1505, doi:10.1080/01904167.2013.790429.
12. Faccini, B.; Di Giuseppe, D.; Ferretti, G.; Coltorti, M.; Colombani, N.; Mastrocicco, M. Natural and NH₄+ -enriched zeolite amendment effects on nitrate leaching from a reclaimed agricultural soil (Ferrara Province, Italy). *Nutr. Cycl. Agroecosystems* 2018, 110, 327–341, doi:10.1007/s10705-017-9904-4.

BIBLIOGRAFIA

13. Ferretti, G.; Di Giuseppe, D.; Natali, C.; Faccini, B.; Bianchini, G.; Coltorti, M. C-N elemental and isotopic investigation in agricultural soils: Insights on the effects of zeolite amendments. *Chemie der Erde* 2017, 77, 45–52, doi:10.1016/j.chemer.2017.02.002.
14. Eslami, M.; Khorassani, R.; Coltorti, M.; Malferrari, D.; Faccini, B.; Ferretti, G.; Di Giuseppe, D.; Fotovat, A.; Halajnia, A. Leaching behaviour of a sandy soil amended with natural and NH₄⁺ and K⁺ saturated clinoptilolite and chabazite. *Arch. Agron. Soil Sci.* 2018, 64, 1142–1151, doi:10.1080/03650340.2017.1414944.
15. Faccini, B.; Di Giuseppe, D.; Colombani, N.; Mastrocicco, M.; Malferrari, D.; Coltorti, M.; Ferretti, G. Column Leaching Experiments on Ammonium Charged Zeolite. *EQA – Environ. Qual.* 2014, 14, 43–52, doi:10.6092/issn.2281-4485/4545.
16. Ferretti, G.; Keiblinger, K.M.; Zimmermann, M.; Di Giuseppe, D.; Faccini, B.; Colombani, N.; Mentler, A.; Zechmeister-Boltenstern, S.; Coltorti, M.; Mastrocicco, M. High resolution short-term investigation of soil CO₂, N₂O, NO_x and NH₃ emissions after different chabazite zeolite amendments. *Appl. Soil Ecol.* 2017, 119, 138–144, doi:10.1016/j.apsoil.2017.06.004.
17. Ferretti, G.; Keiblinger, K.M.; Di Giuseppe, D.; Faccini, B.; Colombani, N.; Zechmeister-Boltenstern, S.; Coltorti, M.; Mastrocicco, M. Short-Term Response of Soil Microbial Biomass to Different Chabazite Zeolite Amendments. *Pedosphere* 2018, 28, 277–287, doi:10.1016/S1002-0160(18)60016-5.



BIOCHAR: NUOVE TECNICHE PER UN'AGRICOLTURA SOSTENIBILE



Consorzio Italbiotec

Nata nel 1998, Italbiotec è la principale organizzazione no-profit italiana nel settore delle biotecnologie, che riunisce oltre 80 innovatori, tra cui Università italiane, il Consiglio Nazionale delle Ricerche e 50 aziende operanti nei settori delle scienze della vita, dell'agroalimentare e della bioeconomia. Promuovere la ricerca scientifica è uno degli obiettivi principali per Italbiotec fornendo servizi avanzati di raccolta fondi pubblica, trasferimento tecnologico, diffusione e comunicazione.

RESIDUE

Il progetto RESIDUE è stato finanziato nell'ambito del Bando "Gestione dell'Acqua", Tema 2.1.2. "Gestione delle acque di bassa qualità in condizioni di scarsità idrica e cambiamenti climatici" del Programma PRIMA (provvedimento DDG MIUR 804 del 07/04/2021 CU PH49J21000280007)

Il Biochar è uno degli ultimi progressi tecnologici nell'agricoltura sostenibile. Composto di oltre il 90% di carbonio, il biochar è ottenuto a partire da sostanze di scarto attraverso la pirolisi e/o la gassificazione della biomassa vegetale e può essere utilizzato sia come fonte di energia che per la sua capacità di sequestrare il carbonio nel suolo. Qui riportiamo una panoramica della produzione, della composizione e dell'uso del biochar, dei problemi associati e dei vantaggi.



Ilaria Re

Con un Master in Economia e Project Management, Ilaria è l'EU project Office Director del Consorzio Italbiotec e consulente per lo sviluppo aziendale, con oltre dieci anni di esperienza nella raccolta fondi pubblica nel campo della ricerca, dell'innovazione e del trasferimento tecnologico e della gestione delle sovvenzioni.



Melissa Balzarotti

Laureata in Biotecnologie della Riproduzione, Melissa è Project Manager presso il Consorzio Italbiotec dove si occupa di gestire progetti di R&S nel campo delle biotecnologie industriali, in particolare nei settori Life Sciences, Agribusiness e Bioeconomia.



Cecilia Ceccherini

Laureata in Biotecnologie Avanzate, Cecilia è project manager presso il Consorzio Italbiotec. Cecilia fa parte del team di project management ed è coinvolta nello sviluppo di progetti innovativi nei settori delle scienze della vita e dell'agroalimentare.

Produzione di biochar e caratteristiche principali

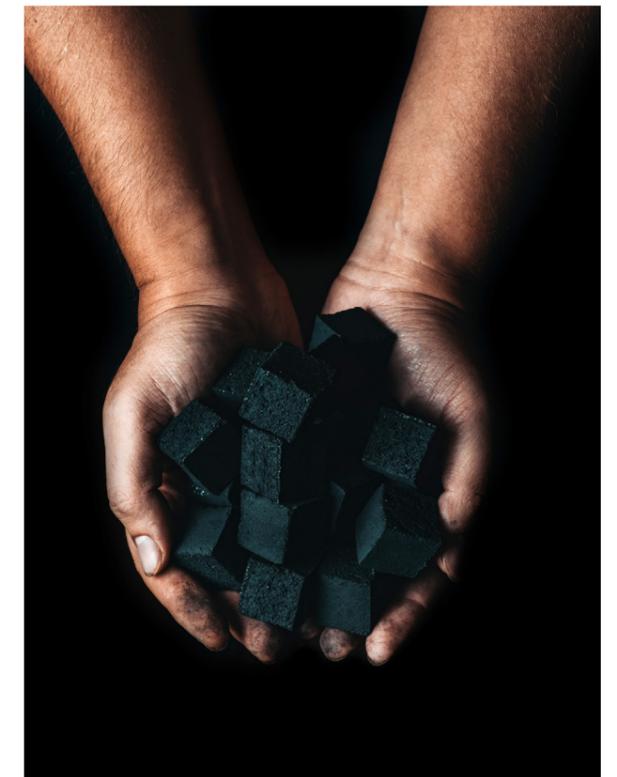


Il **Biochar** è un prodotto composto per oltre il 90% da carbonio ottenuto da sostanze di scarto attraverso la pirolisi e/o la gassificazione della biomassa vegetale. È considerata una delle tante soluzioni per la gestione e la conversione dei rifiuti organici e può essere utilizzata come fonte di energia (produzione di syngas - una miscela di CO e H₂) e per il sequestro del carbonio nel suolo. Il biochar è caratterizzato da una matrice di carbonio costituita da una **frazione labile** (più facilmente degradabile) e da una **frazione altamente resistente** (composta da anelli aromatici recalcitranti) alla decomposizione biologica, più di 1.000 volte rispetto alle forme di materia organica "tradizionalmente" presenti nel suolo. Ha una struttura amorfa, parzialmente cristallina in cui le particelle sono distribuite in strati disposti casualmente, con conseguente porosità elevata. **Le proprietà del biochar (ad**

esempio, la dimensione delle particelle) possono cambiare a seconda della biomassa di partenza, della temperatura, del tempo e del recipiente di produzione utilizzato: se il processo di riscaldamento è veloce e il materiale vegetale viene riscaldato ad alta temperatura (>650 °C / 1.200 F) per un breve periodo, il biochar prodotto avrà particelle molto fini. Allo stesso modo, un processo lento che sottopone il materiale vegetale a temperature più basse (450-650 °C / 850-1.200 F) e periodi di riscaldamento più lenti produce particelle di biochar più grandi. In generale, il biochar è alcalino; l'alcalinità è attribuita ai sali metallici di base (cioè Na, K, Ca e Mg) dei componenti delle ceneri minerali biochar, che forniscono anche il potenziale di calcinazione. Anche la temperatura e le specie vegetali di partenza influenzano il pH del biochar, che va da un minimo di 4,6 a un massimo di 9,3. Maggiore è la

temperatura di pirolisi, maggiore è il pH del biochar, con conseguenti proprietà diverse [1]. **Il biochar aggiunto al suolo influisce sulle proprietà del sistema: sulle caratteristiche fisiche del suolo, sull'affinità per l'acqua, sulla sua aggregazione, sulla duttilità durante la preparazione, sulla sua capacità di ritenzione cationica e la sua risposta alle variazioni di temperatura.** Diversi tipi di biochar possono essere combinati con diversi terreni o colture per ottenere i risultati desiderati. La stabilità e la permanenza del biochar nel suolo aumentano con l'aumentare della temperatura di produzione. Pertanto, **il biochar ottenuto a temperature più basse si decompone rapidamente** e potrebbe essere utilizzato in terreni minerali a basso contenuto di nutrienti, mentre il biochar con un tempo di permanenza più lungo potrebbe essere utilizzato in terreni ricchi di carbonio organico, che il biochar trattiene, migliorando la qualità del suolo. **I biochar a lavorazione rapida sono materiali altamente porosi e possono essere applicati a terreni compatattati per aumentare la porosità del suolo e ridurre la densità** [2]. La biomassa di partenza svolge un ruolo decisivo nel plasmare le proprietà del biochar: quasi tutti i residui di biomassa solida come legno, rifiuti forestali, detriti erbacei, residui di colture, letame animale, fanghi di depurazione, bucce di frutta e verdura, gusci di noci, ossa, fondi di caffè e farina di semi di cotone sono potenzialmente utilizzabili. Nella produzione commerciale di biochar, il legno e i residui delle colture sono le materie prime predominanti grazie alla loro elevata disponibilità e facilità di manipolazione. Tuttavia, il legno di diverse specie arboree e proveniente da diverse parti o in

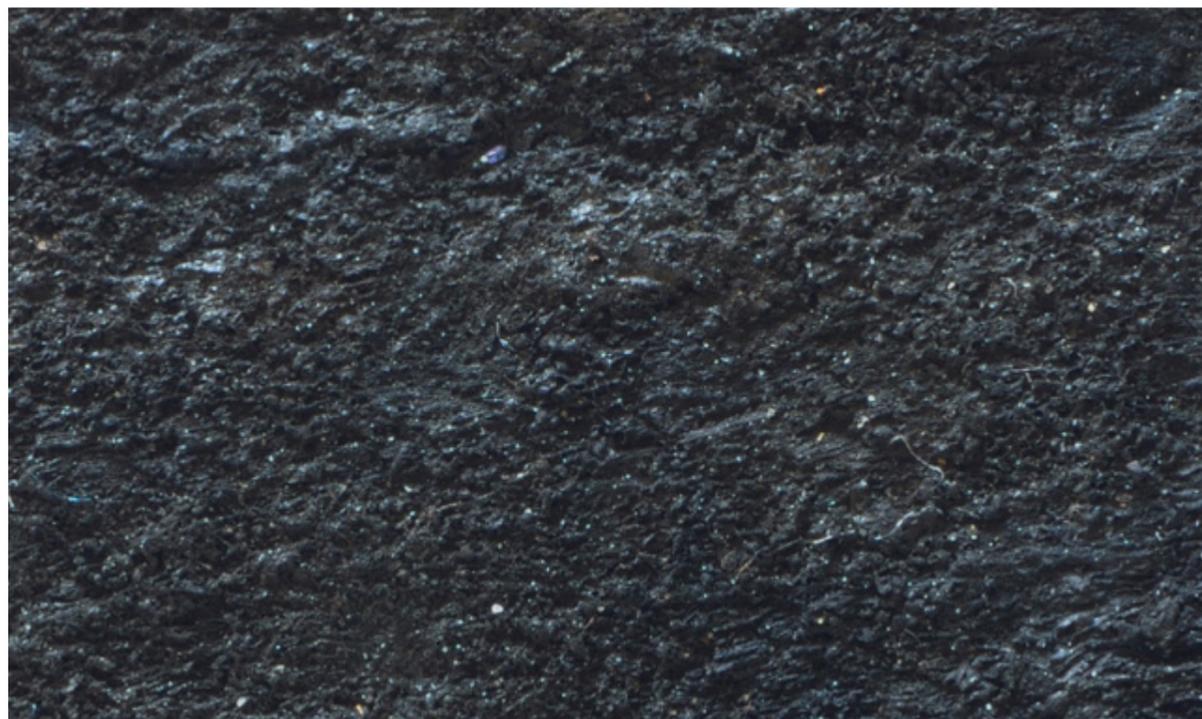
diverse fasi di crescita di un albero, varia in densità e costituzione chimica. Poiché i materiali da biomassa differiscono nella loro composizione lignocellulosica (cioè lignina, cellulosa ed emicellulosa) e minerale (ad esempio, N, P, K, S, Ca, Mg, Na e Si), la conversione di materiali da biomassa provenienti da fonti diverse in biochar alle stesse condizioni di carbonizzazione si traduce in prodotti con caratteristiche fisiche e chimiche non simili. In generale, **i biochar derivati da materie prime con elementi minerali più elevati (ad esempio, letame animale) mostrano un contenuto di ceneri minerali, pH, equivalenza e salinità della calce più elevati, mentre un contenuto di OC (carbonio organico), SSA (area superficiale specifica elevata) e WHC (capacità di ritenzione idrica) più elevato rispetto a quelli derivati da materie prime con elementi minerali inferiori (ad esempio, legno).**



Effetti e criticità del biochar

Il biochar è relativamente inerte e persiste nel suolo molto più a lungo di qualsiasi altro additivo organico, con una persistenza stimata tra 100 e 1000 anni, fornendo benefici nel tempo rispetto ai fertilizzanti aggiuntivi. Il biochar trattiene circa il 50% del carbonio dalla biomassa, riduce la quantità complessiva di CO₂ atmosferica rimuovendola dal ciclo attivo e regola il rapporto C:N delle sostanze ad alto contenuto di azoto; il protossido di azoto (NO₂) è infatti un gas serra rilasciato da alcuni fertilizzanti ed è 310 volte più potente dell'anidride carbonica e i terreni condizionati dal biochar hanno un degassamento di N₂O del 50-80%. **Secondo l'American Chemical Society, il biochar integrato con fertilizzanti chimici può aumentare la crescita**

del grano e di diverse verdure del 25-50% rispetto alla sola concimazione chimica. Gli esperimenti della *Soil Science Society of America* hanno scoperto che il biochar integrato con i fertilizzanti ha superato in efficacia il fertilizzante da solo del 60% [3]. Con il biochar, la concentrazione di fertilizzanti da utilizzare per le colture è ridotta perché questo ammendante del suolo può trattenere i nutrienti. Di conseguenza, i costi di fertilizzazione sono ridotti al minimo. A differenza dei fertilizzanti chimici a base fossili che hanno un forte impatto sui cambiamenti climatici, il biochar è naturale e non crea danni ambientali. Se dimostrato di essere una risorsa vitale, **il biochar potrebbe migliorare drasticamente la qualità dell'atmosfera e contribuire a invertire**



gli effetti dei cambiamenti climatici. Il biochar può anche promuovere lo sviluppo dei **microrganismi** nel suolo a causa della superficie porosa che li può ospitare (Reddy et al., 2014; Sasidharan et al., 2016; Yang et al., 2019) [4]. Infine, l'energia creata durante la produzione di biochar potrebbe essere utilizzata come sostituto dei combustibili fossili. I problemi legati all'uso di questa pratica si basano sulla novità della pratica stessa: essa implica un **mercato ancora indefinito** e in evoluzione, caratterizzato da prezzi variabili e sostenuti a causa della mancanza di equilibrio tra domanda e offerta. La limitata conoscenza delle pratiche di produzione del biochar e del suo utilizzo da parte degli stessi agricoltori si riflette in una produzione discontinua difficilmente stimabile

in termini di volumi di produzione annuali. Considerando la variabilità dei tipi di suolo e delle condizioni ambientali, non è un compito banale prevedere il destino e l'effetto del biochar sul suolo (nonostante gli enormi progressi nella chimica del biochar). L'attuale comprensione degli effetti complessivi del biochar sul suolo e sul biota del suolo e delle loro interazioni reciproche non è chiara perché **il biochar può avere effetti positivi, negativi o neutri.** Questi risultati misti illustrano chiaramente che le complesse interazioni del biochar e i conseguenti effetti sul biota del suolo sono stati studiati in modo inadeguato. **Per prevenire gli effetti negativi critici del biochar, dovrebbero essere sviluppate linee guida razionali, dettagliate e precise che specifichino le informazioni** (sul biochar, sul suolo e sulle condizioni ambientali) che devono essere conosciute/registrate ed i criteri che devono essere soddisfatti (riguardanti gli effetti previsti del biochar sul suolo) per l'applicazione su larga scala del biochar ai suoli. Tali informazioni possono comprendere le proprietà ed i tipi di suolo, le condizioni climatiche, il regime idrico, il contenuto e l'approvvigionamento di sostanze nutritive e di altre sostanze (ad esempio, pesticidi, sostanze contaminanti), il tipo e il metodo di coltivazione della coltura a cui è applicato il biochar, la previsione e la modellizzazione della programmazione temporale dell'effetto del biochar per ottenere un effetto mirato sulle aree trattate. Tuttavia, tale approccio richiede uno studio completo e continuo degli additivi del suolo e dell'impatto multifattoriale dell'agrogestione sul sistema suolo-organismo-pianta-ambiente [5].

Regolamenti europei: il biochar riconosciuto tra gli ammendanti

Attualmente, un mercato del biochar non può essere identificato in Italia. Non esiste ancora un prezzo di riferimento sul mercato, come sempre, stabilito nell'incontro tra domanda e offerta. Tuttavia, è possibile stimare il valore reale di questo ammendante, inerente ai suoi effetti positivi sull'ambiente globale, da una prospettiva che va oltre la sostenibilità come comunemente intesa. Sulla base delle esperienze scientifiche, nel 2012 l'**Associazione Italiana Biochar (ICHAR)** ha presentato una **richiesta al Ministero delle Politiche Agricole, Alimentari e Forestali del MIPAAF per inserire il biochar nell'Allegato 2 del D.Lgs. 75/2010 come ammendante, fornendo le caratteristiche qualitative da rispettare. - Allegato 2 - D. Lgs. 75/2010**). La domanda è stata accettata nel 2015 e oggi il biochar è ammesso nell'elenco degli ammendanti e fertilizzanti italiani. **Grazie all'ICHAR e alla ricerca italiana, il biochar può ora essere utilizzato per migliorare la qualità del suolo, aumentare la produzione e ridurre il fabbisogno idrico**. La presenza di un quadro normativo per il biochar in Italia rassicura gli utilizzatori che il prodotto presente sul mercato soddisfa i requisiti agronomici in termini di qualità. Scegliere se modificare il suolo con il biochar è una scelta operativa complessa poiché il biochar è un ammendante del suolo e non unfertilizzante; pertanto, è necessaria una conoscenza approfondita del contesto am-

bientale in cui il biochar verrà applicato [6]. La nuova legislazione europea sui fertilizzanti (regolamento UE 2019/1009 del Parlamento europeo e del Consiglio del 5 giugno 2019), in vigore da luglio 2019, si applicherà a partire dal 16 luglio 2022, abrogando nel contempo il regolamento CE 2003/2003 sui concimi minerali con marchio CE. La nuova R emulazione ha definito tutti i fertilizzanti etichettati CE utilizzati in agricoltura (classificati come PFC - Categorie funzionali di prodotti), che possono essere prodotti da categorie definite di materiali componenti (CMC). **Il biochar, non incluso nella prima bozza del regolamento, è in procinto di essere incluso come "CMC 14 - materiali da pirolisi o gassificazione"**. ICHAR sta monitorando il percorso per includere il biochar nel nuovo regolamento europeo. A seguito dell'applicazione del Nuovo Regolamento Europeo, la normativa nazionale in materia di fertilizzanti (D. Lgs. 75/2010) sarà rivista contestualmente [6].



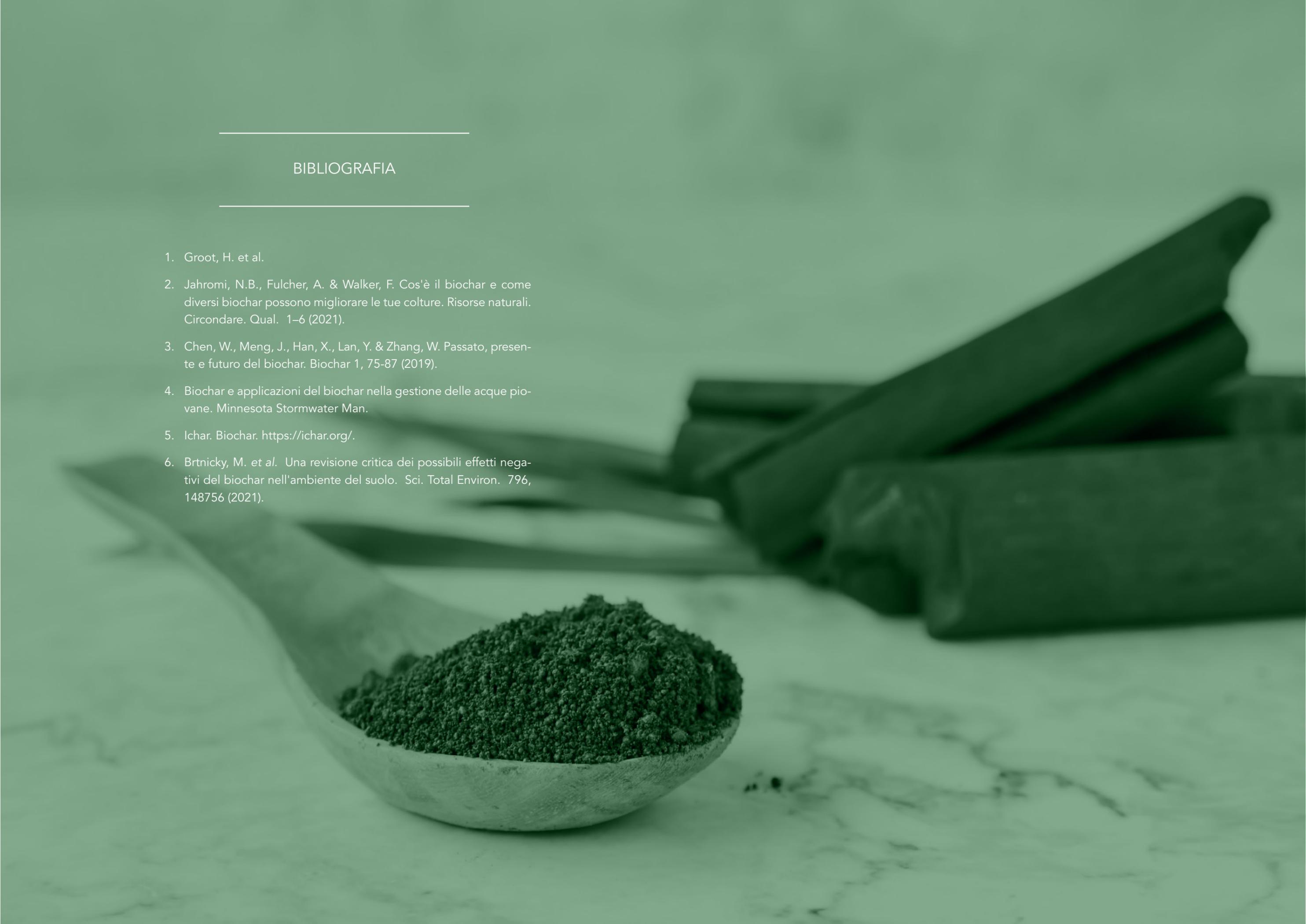
Conclusioni

Il Biochar aiuta a migliorare le proprietà fisiche, chimiche e biologiche del suolo. Contribuisce ad affrontare questioni ambientali critiche come l'emissione di gas a effetto serra dal suolo. I possibili fattori che limitano l'uso del biochar sono il tipo di biochar, le condizioni di produzione, le proprietà del suolo e la quantità di biochar applicato. Considerando tutti gli aspetti e l'importanza del biochar, si conclude che esso ha un ruolo potenziale

nella gestione sostenibile del suolo. Inoltre, il biochar aiuta anche a gestire l'ambiente in modo sostenibile ed eco-compatibile. Sono necessari studi su diversi tipi di terreni e sulla disponibilità di metalli pesanti. La commercializzazione del biochar richiede anche che sia promosso per un ulteriore utilizzo in applicazioni sostenibili. Ulteriori studi dovrebbero essere effettuati sul biochar per esplorare il suo potenziale uso negli anni futuri.

Per aumentare le conoscenze sul biochar e creare un nuovo mercato fiorenti, sarà necessario per i prossimi anni aumentare il numero di studi su questo prodotto e creare una nuova legislazione.

BIBLIOGRAFIA

1. Groot, H. et al.
 2. Jahromi, N.B., Fulcher, A. & Walker, F. Cos'è il biochar e come diversi biochar possono migliorare le tue colture. *Risorse naturali. Circondare. Qual.* 1–6 (2021).
 3. Chen, W., Meng, J., Han, X., Lan, Y. & Zhang, W. Passato, presente e futuro del biochar. *Biochar* 1, 75-87 (2019).
 4. Biochar e applicazioni del biochar nella gestione delle acque piovane. *Minnesota Stormwater Man.*
 5. Ichar. Biochar. <https://ichar.org/>.
 6. Brtnicky, M. et al. Una revisione critica dei possibili effetti negativi del biochar nell'ambiente del suolo. *Sci. Total Environ.* 796, 148756 (2021).
- 

Nel prossimo numero...

Per completare il quadro sulla produzione primaria dopo il precedente numero dedicato all'acquacoltura, questo dedicato all'agricoltura, il prossimo volume del nostro Magazine indagherà le innovazioni legate al comparto **dell'allevamento**.

Potrai trovare articoli su Precision livestock farming, automazione, gestione microclima ambientale, benessere animale, razionamento e tipologie di mangimi, pianificazione del trattamento di antibiotici, sensoristica per il monitoraggio, miglioramento della sostenibilità dell'allevamento e svariati altri temi.

Se sei un'esperto o un'esperta di uno di questi argomenti non esitare a contattarci, potrai contribuire al trasferimento dell'innovazione nel settore agroalimentare realizzando insieme a noi un articolo per il prossimo volume. Inviaci una richiesta di collaborazione al nostro indirizzo mail riportato alla pagina seguente.



Proposte e Collaborazioni

info@food-hub.it

Food Hub S.r.l. Società Benefit

P. IVA 04598540401

Via Martiri della Libertà, 14 C

47521 - Cesena (FC)





Food Hub