





# I GEORGOFILI



L'ACCADEMIA PER IL POST COVID-19

Supplemento agli Atti dei Georgofili 2021

*Con il contributo di*



FONDAZIONE  
CR FIRENZE

Copyright © 2022  
Accademia dei Georgofili  
Firenze  
<http://www.georgofili.it>

Proprietà letteraria riservata

Supplemento a «I Georgofili. Atti della Accademia dei Georgofili»  
Anno 2021 - Serie VIII - Vol. 18 (197° dall'inizio)

Direttore responsabile: Paolo Nanni

ISSN 0367-4134

Servizi redazionali, grafica e impaginazione  
SOCIETÀ EDITRICE FIORENTINA



# Indice

<i>Presentazione</i> di Massimo Vincenzini .....	»	7
ANTOLOGIA DELLE INNOVAZIONI PER L'AGRICOLTURA		
CEREALI		
CAMILLA DIBARI, NICCOLÒ BARTOLONI, BIANCA BINDI, MARCO MORIONDO, GLORIA PADOVAN, GIACOMO TROMBI, ROMEO BANDINELLI, <i>Breve storia della filiera dei "Grani Antichi": la tracciabilità tramite blockchain</i> .....	»	13
DIFESA DELLE PIANTE		
VALERIA ZENI, GIOVANNI BENELLI, LUCA INCROCCI, ANGELO CANALE, ALBERTO PARDOSSI, <i>Lotta biologica di precisione ai fitofagi delle colture orticole....</i> .....	»	19
SALVATORE DAVINO, STEFANO PANNO, <i>Network di micro-laboratori per la gestione fitosanitaria della filiera delle ortive (Net micro-Lab)</i> .....	»	24
FRUTTICOLTURA E ORTICOLTURA		
MARTINA PUCCINELLI, ALBERTO PARDOSSI, LUCA INCROCCI, <i>La coltivazione aeroponica</i> .....	»	33
STEFANO ANCONELLI, UGO PALARA, GIAMPIERO REGGIDORI, FEDERICA ROSSI, FRANCO ZINONI, <i>L'uso dell'irrigazione sottochioma come strumento per la protezione dalle gelate tardive nelle piante da frutto</i> .....	»	38
TECNICHE AGRONOMICHE		
NICOLA PASETTI, GABRIELE COLA, LUIGI MARIANI, TEODORO GEORGIADIS, FEDERICA ROSSI, <i>Geosafe – un sistema di caratterizzazione agro-climatica a fini assicurativi</i> .....	»	47

## ALTRI CONTRIBUTI

### FLORICOLTURA E FLOROVIVAISMO

- LAURA PISTELLI, LUISA PISTELLI, BARBARA RUFFONI, *Alimentazione sana con fiori commestibili: dalla tradizione al "functional food"* ..... » 59

### FRUTTICOLTURA, VITICOLTURA E ORTICOLTURA

- MICHAEL OBERHUBER, FRANZISKA MARIA HACK, JULIA RIZZO, *Ricerche e innovazioni per il settore viti-vinicolo del Centro di Sperimentazione Laimburg*..... » 69

### MECCANICA E MECCANIZZAZIONE

- ROBERTO SCALACCI, *Riflessioni sull'uso dei droni e dei dati nell'agricoltura di precisione*..... » 79

### RIFLESSIONI

- ELENA PANICHI, *L'agricoltura biologica europea, quale futuro? Sfide e opportunità*..... » 87
- PIERO CRAVEDI, ALBERTO ALMA, MAURIZIO CONTI, GIUSEPPE FIRRAO, ANDREA LUCCHI, GAETANO MAGNANO DI SAN LIO, PIO FEDERICO ROVERSI, LUISA RUBINO, STEFANIA TEGLI, GIOVANNI VANNACCI, *PNRR: agricoltura e difesa antiparassitaria. Considerazioni del Comitato dei Georgofili sui problemi della difesa delle piante* ..... » 97
- ALDO FERRERO, FLAVIO BAROZZI, LUIGI MARIANI, *Se il meglio è nemico del bene: impatto economico, ambientale e sulla sicurezza alimentare delle politiche Ue del Farm to Fork e della biodiversità*..... » 102
- AMEDEO ALPI, *La coscienza delle piante (ovvero, la forza della omologazione contro la diversità)* ..... » 117

### RISORSE NATURALI

- CATELLO DI MARTINO, PASQUALINO MINOTTI, ERIKA DI IORIO, CLAUDIO COLOMBO, THOMAS W. CRAWFORD JR, *Effetti delle acque reflue del frantoio e di due estratti naturali come inibitori della attività dei batteri nitrificanti e della perdita per lisciviazione di nitrati. Prove su coltura in vaso di sedano (*Apium graveolens* L.)* ..... » 131
- ALICE TRIVELLINI, ANTONIO FERRANTE, *Biostimolanti per le colture in serra e in vivaio*..... » 139
- GIULIANO MOSCA, AMEDEO ALPI, DEBORAH PIOVAN, MICHELE PASCA RAIMONDO, PAOLO TESSARI, ANNA LANTE, THOMAS R. SINCLAIR, *Le proteine delle leguminose coltivate*..... » 149
- VALERIA ZENI, FILIPPO DI GIOVANNI, GIOVANNI BENELLI, ANGELO CANALE, *C'è una larva nel mio piatto! Diffusione degli insetti nella dieta occidentale* ..... » 196

## Presentazione

Con questo secondo volume, si chiude l'esperienza editoriale de "L'Accademia per il *post* COVID-19".

Si è trattato di un servizio di informazione on-line dedicato alle nuove acquisizioni tecnico-scientifiche, con particolare attenzione per quelle di pratica utilità per il settore agricolo. In tal modo, l'Accademia, ritenendo di non poter venir meno al ruolo che le è proprio fin dalla sua fondazione, ha inteso mettere a disposizione degli agricoltori, e in particolare ai conduttori di piccole e medie imprese agricole, un efficace strumento di spinta innovativa, da mettere in pratica per avviare la ripresa socio-economica che dovrebbe dar seguito alla difficile fase pandemica, nel segno di una maggiore attenzione per l'ambiente.

Questa iniziativa, inserita nel sito istituzionale e sottoposta ad aggiornamento con cadenza settimanale, era suddivisa in due sezioni: "Antologia delle innovazioni per l'agricoltura" e "Altri contributi"

L'*Antologia*, cui tutti gli accademici erano invitati a contribuire, raccoglie una sintetica, ma esauriente e facilmente comprensibile descrizione delle innovazioni mature per l'immediato trasferimento in agricoltura. I contributi sono stati aggruppati in categorie che talora si identificano con consolidate filiere produttive (Cereali; Colture industriali; Frutticoltura; ecc.), ma, più frequentemente, rappresentano aree tematiche – come sistemi colturali, meccanica e meccanizzazione, sistemi per la difesa dalle avversità, genetica e biotecnologie, tecnologie alimentari, economia e mercati – dove sono state raccolte innovazioni di prodotto o di processo elaborate dalla comunità scientifica agraria italiana.

In *Altri contributi*, hanno trovato spazio documenti monotematici che, in qualche occasione, rappresentano veri e propri documenti di importante riflessione su comparti produttivi, o su risorse fondamentali per l'agricoltu-

ra, mentre altre volte, se pur in modo più sintetico, costituiscono rilevanti aggiornamenti su varie tecniche agronomiche. Anche in questo caso, i vari documenti sono stati catalogati secondo specifiche categorie.

Tutto il materiale divulgato mediante questa iniziativa è stato sottoposto a referaggio da parte di accademici specialisti dei settori di volta in volta interessati, al fine di assicurare la migliore affidabilità dei contenuti.

MASSIMO VINCENZINI

L'ACCADEMIA PER IL POST COVID-19

*Antologia delle innovazioni per l'agricoltura*



Cereali





CAMILLA DIBARI<sup>1</sup>, NICCOLÒ BARTOLONI<sup>1</sup>, BIANCA BINDI<sup>2</sup>, MARCO MORIONDO<sup>3</sup>,  
GLORIA PADOVAN<sup>1</sup>, GIACOMO TROMBI<sup>1</sup>, ROMEO BANDINELLI<sup>2</sup>

## Breve storia della filiera dei “Grani Antichi”: la tracciabilità tramite blockchain

<sup>1</sup> Dipartimento di Scienze e Tecnologie Agrarie, Alimentari, Ambientali e Forestali (DAGRI),  
Università degli Studi di Firenze

<sup>2</sup> Dipartimento di Ingegneria Industriale (DIEF), Università degli Studi di Firenze

<sup>3</sup> Istituto di Bioeconomia (CNR-IBE), Consiglio Nazionale delle ricerche

Per definizione si intendono Grani Antichi quelle varietà coltivate in Italia prima della cosiddetta “Rivoluzione Verde”, attuata nella seconda metà del Novecento, allo scopo di individuare varietà di frumento più produttive per sostenere l'incremento demografico nell'immediato dopoguerra.

Al fine di inquadrare la nascita e la riscoperta di queste varietà, una parte di quelle che oggi conosciamo come grani antichi (Senatore Cappelli, Verna, Frassineto) nacquero grazie al lavoro di alcuni agronomi, fra tutti ricordiamo Nazareno Strampelli, i quali, per sostenere l'aumento della popolazione, intrapresero a inizio del Novecento un percorso di miglioramento genetico delle varietà coltivate con il preciso scopo di aumentarne la produzione ad ettaro e diminuirne la taglia in altezza.

A partire dagli anni '60 il miglioramento genetico del frumento ha portato alla nascita di nuove varietà soprattutto di grano duro, aventi un contenuto in glutine fino a 20 volte maggiore rispetto ai grani antichi (Spisni et al., 2019). Tuttavia, nel corso degli anni la presenza di grani con alto contenuto di glutine ha portato all'insorgenza di svariate forme di intolleranza a questa proteina.

L'aumento della popolazione mondiale unita al fenomeno della globalizzazione ha incentivato l'incremento di scambi di grano a livello globale, con il conseguente stoccaggio di ingenti quantità di frumento, a volte senza adottare corrette modalità di conservazione del prodotto per evitare il propagarsi di agenti patogeni, provenienti soprattutto da Paesi dove i controlli sullo stoccaggio sono meno efficienti.

Sia nei silos di stoccaggio o anche nelle stive delle navi container, si verifica spesso l'insorgenza di micotossine, i cui metaboliti sono potenziali cancerogeni per la salute umana, aumentando di fatto le intolleranze ai grani teneri

da parte dell'uomo, oltre alle già citate intolleranze al glutine o a più diffuse forme di celiachia (Kumera et al., 2017).

In risposta alle mutate richieste dei consumatori, allo stimolo da parte di alcuni agricoltori che negli ultimi anni hanno mostrato attenzione a selezionare varietà di frumento con più basso contenuto in glutine, oltre all'interesse della comunità scientifica nell'analizzare le caratteristiche nutraceutiche e di adattamento ai cambiamenti climatici, la cerealicoltura italiana ha negli anni destinato superfici sempre maggiori alla coltivazione di varietà antiche di frumento. Secondo Coldiretti la superficie destinata a grani antichi è passata da 100 ettari a oltre 6000 ettari in soli due anni (dal 2017 al 2019, <https://www.coldiretti.it/economia/addio-un-campo-grano-5-un-decennio>).

Tuttavia, a fronte di un aumento considerevole della domanda di questo prodotto, negli ultimi anni si è assistito a una carenza di disponibilità di semente certificata anche a seguito di fenomeni di esclusività nella produzione di sementi certificate, recentemente sanzionate dall'Antitrust (<https://terraevita.edagricole.it/seminativi/senatore-cappelli-antitrust>). Ciò ha messo gli agricoltori nella condizione di riutilizzare la granella per successive semine, ponendo un problema di mantenimento della purezza genetica del prodotto conferito ai mulini.

La necessità di poter garantire l'effettiva autenticità del prodotto finale al consumatore nella filiera della produzione della pasta o di prodotti panificati, ha pertanto stimolato il mondo della ricerca nello studio di un'innovazione tecnologica volta a garantire la tracciabilità della filiera a partire dal seme.

Il progetto GRANTCHAIN mira a coniugare le più moderne tecnologie disponibili oggi nel comparto agricolo con una filiera tradizionale, come quella del grano, per sviluppare una metodologia innovativa che migliori la tracciabilità del prodotto, renda più trasparente l'intero processo di filiera, dal seme alla tavola, garantisca la qualità del prodotto e renda il grano italiano più appetibile sul mercato nazionale/internazionale, in particolare per quanto riguarda gli aspetti qualitativi, tradizionali, ambientali e di salute umana.

L'obiettivo del progetto è identificare i punti chiave e gli attori lungo la filiera del grano duro per la produzione di pasta al fine di facilitare la tracciabilità del prodotto in tutto il suo percorso di produzione tramite l'applicazione di tecnologie innovative (blockchain) per la produzione di pasta da grani antichi.

La tecnologia blockchain, creata nel 2008, è un registro condiviso e immutabile per la registrazione della cronologia delle transazioni. Si chiama blockchain perché tutte le transazioni sono ordinate in elenchi in continua crescita di record chiamati blocchi e ogni blocco è concatenato, utilizzando sofisticati algoritmi matematici, a quelli precedenti fino alla primissima

transazione. Blockchain è una soluzione collaborativa che ha il potenziale per rivoluzionare la tracciabilità e la trasparenza della filiera del cibo.

Il progetto GRANTCHAIN è partito ad analizzare, tramite interviste agli attori della filiera, quali siano i passaggi critici della tracciabilità del prodotto, riprendendo uno schema metodologico proprio dell’analisi HACCP (Hazard analysis and critical control points) comune a tutti i processi di produzione Agroalimentare.

Successivamente sono state selezionate le informazioni cruciali di ogni passaggio critico della filiera e il potenziale di essere protette da tecnologie Internet Of Things (IoT) e blockchain di facile implementazione al fine di garantire non solo la tracciabilità dei passaggi di filiera, ma anche garantire la qualità della produzione, l’impatto ambientale della produzione, rendere trasparente e accessibile il percorso dei prodotti all’interno della filiera agli altri soggetti coinvolti nonché ai consumatori, con livelli di accesso differenziati alle informazioni, migliorare la qualità e il contenuto della comunicazione verso il mercato.

Attraverso la realizzazione di un pilota sul prodotto “pasta di grani antichi toscani”, il progetto vuole fornire uno strumento a garanzia del consumatore finale di acquistare e consumare un prodotto la cui origine e la cui trasformazione è tracciata tramite tecnologia Blockchain e che le informazioni relative alla qualità del prodotto siano facilmente consultabili. Un primo esempio di collaborazione fra le tecnologie più moderne presenti sul mercato e una filiera tradizionale e “antica”, come quella della pasta.

#### ABSTRACT

*Brief history of the “Ancient Grains” supply chain: traceability and blockchain.* In the recent years areas of durum wheat cultivation in Italy have increased, in response to changing demands on the market; these varieties were selected at the beginning of the twentieth century to improve yields, but then abandoned due to the development of new varieties, which in turn contain higher concentration of gluten.

The growing onset of gluten intolerances, as well as the demand for varieties with a higher qualitative value, has encouraged farmers recovering the cultivation of ancient durum wheat varieties, requiring a more effective traceability of the entire value chain. In this context, the Grantchain project combines Internet of Things and Blockchain technologies along a traditional supply chain (the production of pasta from ancient wheat varieties) to guarantee traceability. a more transparent process of production, a more qualified product making the Italian pasta more attractive on the national/international markets and sustainable for the environment and human health.

## BIBLIOGRAFIA

- <https://terraevita.edagricole.it/seminativi/senatore-cappelli-antitrust>  
<https://www.coldiretti.it/economia/addio-un-campo-grano-5-un-decennio>  
KUMERA NEME, ALI MOHAMMED (2017): *Mycotoxin occurrence in grains and the role of postharvest management as a mitigation strategies. A review*, «Food Control», Volume 78, pp. 412-425, ISSN 0956-7135, <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2017.03.012>.  
SPISNI E., IMBESI V., GIOVANARDI E., PETROCELLI G., ALVISI P., VALERII M.C. (2019): *Differential Physiological Responses Elicited by Ancient and Heritage Wheat Cultivars Compared to Modern Ones*, «Nutrients», Nov 26, 11 (12), 2879. doi: 10.3390/nu11122879. PMID: 31779167; PMCID: PMC6950659.

Difesa delle piante



VALERIA ZENI<sup>1</sup>, GIOVANNI BENELLI<sup>1</sup>, LUCA INCROCCI<sup>1</sup>,  
ANGELO CANALE<sup>1</sup>, ALBERTO PARDOSSI<sup>1</sup>

## Lotta biologica di precisione ai fitofagi delle colture orticole

<sup>1</sup> Dipartimento di Scienze Agrarie, Alimentari e Agro-ambientali, Università di Pisa

L'aumento della domanda di cibo, la sicurezza e la disponibilità degli alimenti, la sostenibilità ambientale e la tutela della biodiversità sono solo alcune delle criticità con cui si devono relazionare i ricercatori che si occupano di innovazione in agricoltura. Anche nell'ambito delle colture protette, il mercato richiede un costante sviluppo di nuove strategie e tecnologie volte a risolvere alcune criticità, quali l'abuso di fitofarmaci per il controllo di artropodi, funghi, batteri e virus. Infatti, il crescente utilizzo di insetticidi e acaricidi nell'agricoltura intensiva ha sollevato preoccupazioni sui loro effetti collaterali, che includono rischi per la salute umana, quali inquinamento ambientale, ma anche tossicità verso organismi non-target, ad esempio gli impollinatori. È dunque oggi necessario far collimare l'esigenza del controllo dei fitofagi in agricoltura con un approccio più eco-sostenibile, che integri o sostituisca i prodotti chimici di sintesi con nuovi strumenti più selettivi ed eco-compatibili. I fitofagi delle colture protette sono generalmente polifagi e in grado di svilupparsi senza diapausa (stadio di quiescenza che varia a seconda della specie e delle condizioni ambientali), grazie alle condizioni climatiche stabili e uniformi dell'ambiente di serra, coniugate alla continua abbondanza di risorse trofiche. I principali insetti che minacciano le colture protette sono la *Tuta absoluta* (Lepidoptera: Gelechiidae), un piccolo lepidottero fillominatore che negli ultimi anni ha causato ingenti danni alle colture di pomodoro, e gli aleurodidi *Bemisia tabaci* e *Trialeurodes vaporariorum*, dei quali il primo è anche un vettore del virus dell'accartocciamento fogliare giallo del pomodoro (*Yellow Tomato Leaf Curl Virus*, YTLCV). Altri fitofagi sono rappresentati dai ditteri appartenenti al genere *Lyriomiza*, dai tripidi, e da alcuni acari, con particolar riferimento ad *Aculops lycopersici* e *Tetranychus urticae*.

L'esigenza di nuovi strumenti più eco-compatibili rende necessario lo sviluppo di programmi di lotta integrata (*Integrated Pest Management*, IPM) e

lotta biologica *ad hoc*, capaci di integrare le consolidate conoscenze con le tecnologie emergenti. Recentemente, l'avvento di nuove tecnologie ha promosso lo sviluppo di un Sistema di Supporto Decisionale (*Decision Support System*, DSS) capace di orientare, in tempo reale, le scelte dell'agricoltore, evitando sprechi di mezzi tecnici e riducendo l'inquinamento ambientale. La presenza di centraline climatiche e di sensori che monitorano lo status nutritivo della pianta e le condizioni ambientali ha un grande potenziale per lo sviluppo di modelli previsionali relativi alla crescita delle popolazioni del fitofago. Ad esempio, concentrazioni di azoto elevate nella pianta sono direttamente correlate a una maggiore presenza di *B. tabaci* (Islam et al., 2017). Anche la stessa efficacia degli agenti di controllo è spesso dipendente dalle condizioni climatiche dell'ambiente di rilascio. I miridi predatori, *Macrolophus pygmaeus* e *Nesidiocoris persimilis*, ad esempio, sono attivi a temperature superiori ai 16 °C, al di sotto delle quali la loro azione di controllo è assai limitata.

I programmi di lotta biologica e integrata devono pertanto essere caratterizzati da un approccio multidisciplinare, avente l'obiettivo di mantenere le popolazioni degli organismi nocivi al di sotto della soglia di danno, nel rispetto dei principi ecologici, tossicologici ed economici.

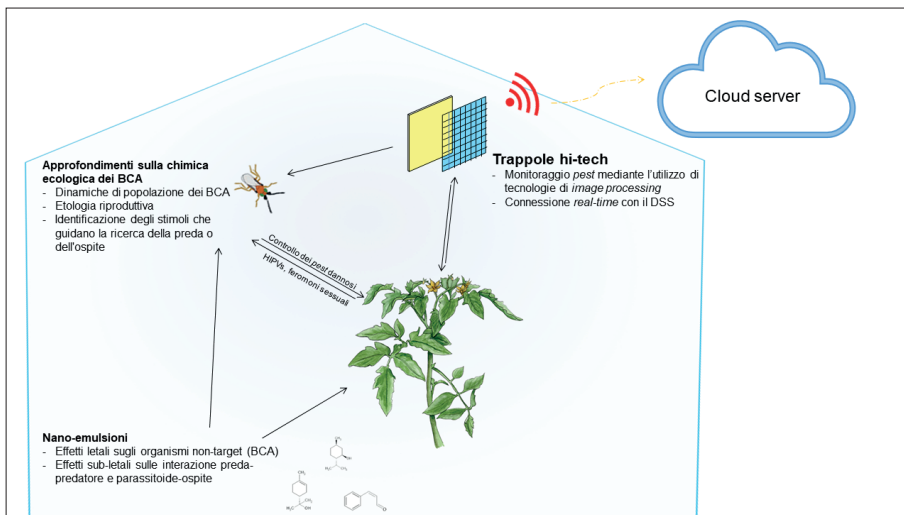
La gestione dei fitofagi con agenti di controllo biologico (*biological control agents*, BCA), come i nemici naturali, è una delle strategie maggiormente adottate già dal secolo scorso. Affinché aumenti l'efficacia e diminuiscano gli effetti sulle specie non target, il controllo biologico deve fare affidamento su una conoscenza approfondita della fisiologia, dell'ecologia e del comportamento dei BCA. La ricerca ha mostrato un forte interesse verso l'identificazione degli stimoli che guidano il BCA nella ricerca dell'ospite. I nemici naturali possono essere guidati verso il fitofago mediante le sostanze volatili prodotte dalla pianta in conseguenza dell'attacco del fitofago stesso (*herbivore induced plant volatiles*, HIPV), così come dai feromoni sessuali da esso rilasciati (Kaplan, 2012; Benelli et al., 2014; Gontijo et al., 2019).

Per un efficace controllo biologico è inoltre fondamentale il tempismo, che deriva da tecniche di monitoraggio puntuali (Lucchi et al., 2018; Preti et al., 2020). Vengono perciò in aiuto le nuove tecnologie di *imaging*, come l'*image processing* il quale sfrutta un'intelligenza artificiale (IA) che acquisisce un'immagine e successivamente estrapola informazioni utili fornendo una pressoché immediata risposta all'agricoltore sulla presenza o meno di artropodi dannosi. L'IA può essere allenata a individuare e riconoscere uno specifico insetto e, grazie al collegamento alle reti di sensori wireless, è possibile monitorare in tempo reale le aree del campo e utilizzare servizi di *cloud computing* per aiutare l'agricoltore nel processo decisionale (DSS) (Cardim Ferreira Lima et al., 2020).



In questo scenario, i programmi biologici e integrati di gestione dei fitofagi possono trarre ulteriore vantaggio dall'adozione di nano-pesticidi verdi (Athanasiou et al., 2018; Soares et al., 2019; Benelli et al., 2020), i quali combinano nanotecnologie con insetticidi d'origine vegetale, come gli oli essenziali, consentendo di aumentare la stabilità e la attività biologica di quest'ultimi (Pavoni et al., 2019). È interessante notare come le nanostrutture coinvolte siano in grado di rilasciare gradualmente i composti attivi nel sito di azione e ridurre al minimo gli effetti tossici sugli organismi non target (Pavoni et al., 2019; Benelli, 2018). Al fine di migliorare questi nuovi strumenti nei programmi di lotta biologica e integrata, è necessaria l'attenta valutazione degli effetti letali e sub-letali sugli insetti target (Benelli et al., 2021) così come nei confronti dei nemici naturali (Biondi et al., 2013; Alves et al., 2020), compresa la quantificazione dei tratti comportamentali potenzialmente alterati negli individui esposti. Le interazioni predatore-preda o parassitoide-ospite sono estremamente complesse e l'esposizione a insetticidi può modificarle. Ogni organismo ha una sensibilità specifica, e gli effetti sub-letali di bio-pesticidi possono influenzarne il comportamento e la fisiologia e, di conseguenza, interrompere i servizi di bio-controllo associati (Soares et al., 2019).

I concetti di innovazione considerati nel presente contributo trovano una piattaforma applicata e operante nel progetto recentemente finanziato PRIMA iGUESS-MED (<https://www.iguessmed.com/>) che abbraccia questa filosofia, prefiggendosi di accompagnare la serricoltura mediterranea verso un'agricoltura innovativa, sostenibile e competitiva. Grazie alle condizioni climatiche favorevoli, gli ettari vocati a colture protette nel bacino del Mediterraneo sono in continuo aumento (~220kha), facendo di esso la seconda area mondiale per dimensione. Il passaggio verso l'innovazione avverrà mediante lo sviluppo e la convalida di un pionieristico DSS in grado di fornire informazioni dettagliate per aiutare l'agricoltore nella soluzione dei problemi e nel processo decisionale. Il progetto pone le radici nel concetto dell'*Internet of Things* (IoT), cioè si avvale di tecnologie emergenti atte alla ricezione e al trasferimento dei dati su reti wireless senza richiedere l'intervento manuale. Grazie a questo approccio sarà possibile avere un controllo in tempo reale sullo *status* della coltura in serra al fine di ridurre le criticità tipiche delle serre Mediterranee, ovvero le perdite di nutrienti nel sottosuolo e nelle acque sotterranee, la riduzione dell'utilizzo di sostanze chimiche per il controllo di fitofagi e delle malattie fungine, l'aumento della produttività mediante un miglioramento dell'efficienza delle procedure di controllo climatico, e l'introduzione di soluzioni specifiche a basso costo da applicare a strutture di serre preesistenti. Tutto il progetto verrà condotto su pomodoro (caso-studio), coltivato sia in terreno, sia con la tecnica della coltura fuori suolo (idroponica).



### *Lotta biologica di precisione ai fitofagi del pomodoro in serra*

*La proposta di IPM per le colture in serra prevede l'utilizzo di trappole hi-tech, agenti di controllo biologico e nuovi formulati eco-compatibili. Gli effetti di dosi letali e sub-letali di insetticidi verdi per il controllo degli organismi dannosi sono oggetto di valutazione anche sui BCA, al fine di valutare il rischio di effetti indesiderati su organismi benefici. Contemporaneamente, studi ecologici ed etologici sui BCA, con particolare riferimento ai rapporti preda-predatore e parassitoide-ospite sono utili per migliorare l'efficienza dell'allevamento ed impiego dei BCA in coltura protetta. Grazie ad un monitoraggio in tempo reale e alla comunicazione immediata con un Cloud Server, l'impiego di BCA e insetticidi a basso impatto ambientale potrà essere sempre puntuale, garantendo una pronta gestione dei fitofagi.*

### ABSTRACT

*Precision biological control of horticultural pests.* Modern agriculture is developing new strategies and technologies to reduce the environmental impact and to fit new market requirements. In this scenario, a forthcoming major challenge is the reduction of insecticide and acaricide use. Herein, we propose a precision agriculture approach for managing arthropod pests in greenhouses, based on the use of artificial intelligence for monitoring and forecasting pest outbreaks, to improve timing and efficacy of biological control agent releases.

### BIBLIOGRAFIA

ALVES T.J., MURCIA-MESEGUER A., AZPIAZU C., WANUMEN A., WANDERLEY-TEIXEIRA V., TEIXEIRA Á.A., ORTIZ A., MEDINA P. (2020): *Side effects of a mixture of essential oils on Psyllia concolor*, «Ecotoxicology», 29 (9), pp. 1358-1367.

- ATHANASSIOU C.G., KAVALLIERATOS N.G., BENELLI G., LOSIC D., RANI P.U., DESNEUX N. (2018): *Nanoparticles for pest control: current status and future perspectives*, «Journal of Pest Science», 91 (1), pp. 1-15.
- BENELLI G. (2018): *Mode of action of nanoparticles against insects*, «Environmental Science and Pollution Research», 25 (13), pp. 12329-12341.
- BENELLI G., CARPITA A., SIMONCINI S., RASPI A., CANALE A. (2014): *For sex and more: attraction of the tephritid parasitoid Psytalia concolor (Hymenoptera: Braconidae) to male sex pheromone of the olive fruit fly*, *Bactrocera oleae*, «Journal of Pest Science», 87 (3), pp. 449-457.
- BENELLI G., PAVONI L., ZENI V., RICCIARDI R., COSCI F., CACOPARDO G., GENDUSA S., SPINOZZI E., PETRELLI R., CAPPELLACCI L., MAGGI F., PAVELA R., BONACUCINA G., LUCCHI A. (2020): *Developing a Highly Stable Carlina acaulis Essential Oil Nanoemulsion for Managing Lobesia botrana*, «Nanomaterials», 10 (9), p. 1867.
- BENELLI G., RIZZO R., ZENI V., GOVIGLI A., SAMKOVÁ A., SINACORI M., LO VERDE G., PAVELA R., CAPPELLACCI L., PETRELLI R., SPINOZZI E., MORSHEDLOO M.R., MAGGI F., CANALE A. (2021): *Carlina acaulis and Trachyspermum ammi essential oils formulated in protein baits are highly toxic and reduce aggressiveness in the medfly*, *Ceratitis capitata*, «Industrial Crops and Products», 161, p. 113191.
- BIONDI A., ZAPPALÀ L., STARK J., DESNEUX N. (2013): *Do biopesticides affect the demographic traits of a parasitoid wasp and its biocontrol services through sublethal effects?*, «PLoS ONE», 8 (9), e76548.
- CARDIM FERREIRA LIMA M., DAMASCENA DE ALMEIDA LEANDRO M.E., VALERO C., PEREIRA CORONEL L.C., GONÇALVES BAZZO C.O. (2020): *Automatic Detection and Monitoring of Insect Pests. A Review*, «Agriculture», 10, p. 161.
- GONTIJO L., CASCONI P., GIORGINI M., MICHELOZZI M., RODRIGUES H.S., SPIEZIA G., IODICE L., GUERRIERI E. (2019): *Relative importance of host and plant semiochemicals in the foraging behavior of Trichogramma achaeae, an egg parasitoid of Tuta absoluta*, «Journal of Pest Science», 92, pp. 1479-1488.
- ISLAM M.N., HASANUZZAMAN A.T.M., ZHANG Z.-F., ZHANG Y., LIU T.-X. (2017): *High Level of Nitrogen Makes Tomato Plants Releasing Less Volatiles and Attracting More Bemisia tabaci (Hemiptera: Aleyrodidae)*, «Frontiers of Plant Science», 8, p. 466.
- KAPLAN I. (2012): *Attracting carnivorous arthropods with plant volatiles: the future of biocontrol or playing with fire?*, «Biological Control», 60, pp. 77-89.
- LUCCHI A., SAMBADO P., ROYO A.B.J., BAGNOLI B., BENELLI G. (2018): *Lobesia botrana males mainly fly at dusk: video camera-assisted pheromone traps and implications for mating disruption*, «Journal of Pest Science», 91, pp. 1327-1334.
- PAVONI L., BENELLI G., MAGGI F., BONACUCINA G. (2019): *Green nanoemulsion interventions for biopesticide formulations*, in Opende, K. (Ed), *Nano-Biopesticides: Today and Future Perspectives*, Academic Press, Chapter 5, pp. 133-160.
- PRETI M., VERHEGGEN F., ANGELI S. (2020): *Insect pest monitoring with camera-equipped traps: strengths and limitations*, «Journal of Pest Science», 94, pp. 203-217.
- SOARES M.A., CAMPOS M.R., PASSOS L.C., CARVALHO G.A., HARO M.M., LAVOIR A.-V., BIONDIO A., ZAPPALÀ L., DESNEUX N. (2019): *Botanical insecticide and natural enemies: a potential combination for pest management against Tuta absoluta*, «Journal of Pest Science», 92, pp. 1433-1443.

SALVATORE DAVINO<sup>1</sup>, STEFANO PANNO<sup>1</sup>

## Network di micro-laboratori per la gestione fitosanitaria della filiera delle ortive (Net micro-Lab)

<sup>1</sup> Department of Agricultural, Food and Forest Sciences, University of Palermo

Nell'ambito del comparto agroalimentare italiano ed europeo si fa sempre più pressante la necessità di dotare le filiere e gli operatori agricoli di strumenti in grado di garantire da un lato la riduzione dei rischi connessi ad avversità biotiche e abiotiche, dall'altro il miglioramento della qualità delle produzioni agricole e delle derrate alimentari, unitamente all'aumento della sostenibilità ambientale dei processi produttivi in termini di minor impatto ambientale, salvaguardia della salubrità del prodotto e risparmio economico per l'operatore del settore (Mensah et al., 2019). Tale necessità si fa ancora più evidente a livello regionale, dove la mancanza di infrastrutture e di rete, e la scarsa preparazione e propensione degli agricoltori nei confronti dei mercati esteri rende il settore primario della Sicilia meno competitivo rispetto al contesto nazionale e internazionale.

Il progetto Net micro Lab ha lo scopo di accrescere la sostenibilità ambientale e la redditività delle aziende agricole attraverso i seguenti obiettivi principali:

- istituzione di una filiera (Vivai, Aziende agricole e OP) con particolare riguardo al pomodoro;
- analisi *ex ante* sulle sementi di pomodoro in entrata;
- creazione di mini-laboratori interconnessi a un laboratorio centrale accreditato;
- impostazione e progettazione di strumenti diagnostici specifici, sensibili e rapidi basati sul test di amplificazione isotermica o su amplificazioni in tempo reale del genoma dei principali patogeni;
- sviluppo di un'app mobile per la gestione in continuo dei dati da parte del laboratorio accreditato.

Il progetto è stato finanziato dal PSR Sicilia 2014/2020, sottomisura 16.2 data di pubblicazione del bando 21/02/2019 approvato con D.D.G. n. 149 del 20/02/2019.

Le moderne tecniche agronomiche proprie dei sistemi agricoli intensivi e la elevata riduzione della biodiversità sono tra le principali cause dell'esplosione di nuove epidemie che difficilmente possono essere contenute se non si attuano in tempi molto brevi tutte le pratiche atte all'eliminazione dei primi focolai. Per questo motivo, vi è la necessità di un approccio integrato e multidisciplinare, in cui la diagnosi precoce e la gestione in remoto della filiera possano interagire stabilendo una rete in grado di raccogliere tutte le informazioni necessarie per fornire una risposta tempestiva e impostare strategie di gestione del problema quanto più possibili eco-sostenibili. L'obiettivo principale del progetto è l'integrazione delle conoscenze nell'ambito della patologia vegetale con particolare riferimento a virus e batteri che interessano le solanacee, con pratiche di gestione integrata e diagnosi precoce, congiuntamente all'approccio informatico. La connessione di tutti questi elementi porterà allo sviluppo di un protocollo diagnostico per il contenimento delle malattie di interesse economico più rilevanti. Il progetto mira, quindi, a facilitare l'accesso ai sistemi di diagnosi e gestione, sviluppando applicazioni mobili e kit facili da usare e a basso costo per le aziende della filiera. Tutte le informazioni raccolte verranno raccolte e archiviate in un server cloud per ulteriori elaborazioni da parte degli operatori di ricerca o delle parti interessate (gruppi target). Il progetto vuole dare un contributo rilevante nel settore climatico/ambientale puntando alla riduzione dei rischi attraverso soluzioni applicative volte al monitoraggio, alla gestione e all'ottimizzazione di diversi processi relativi alle produzioni agricole con il fine di migliorare la qualità dei prodotti e ridurre le risorse utilizzate e l'impatto ambientale.

Il progetto si concentra principalmente sulla coltivazione delle solanacee utilizzando la pianta di pomodoro come specie modello. Questa coltura è sottoposta a numerosi pericoli dovuti principalmente alla globalizzazione degli scambi commerciali, all'interesse per l'implementazione dell'area di libero scambio tra i Paesi del Bacino del Mediterraneo e ai cambiamenti climatici (Panno et al., 2019), con il rischio crescente di introduzione di nuovi patogeni emergenti o della recrudescenza di vecchi patogeni con un forte impatto negativo sull'orticoltura e sulla sostenibilità ambientale. Attualmente tra le problematiche più difficili da affrontare rientrano le malattie trasmissibili per seme (Davino et al., 2020).

La prima innovazione che si intende trasferire nell'ambito del sistema pomodoro-vivaio-azienda agricola sarà l'analisi delle sementi *ex ante* attraverso un approccio metagenomico (Next Generation Sequencing – NGS) (Behjati

e Tarpey, 2013). Tale metodologia permetterà di identificare in tempi brevi, a basso costo e direttamente in vivaio eventuali problematiche fitosanitarie connesse al movimento delle sementi ed eventualmente di stilare un piano di contenimento o di eradicazione dei patogeni rilevati prima che le piantine escano dall'azienda.

La seconda innovazione consiste nella formazione di una rete integrata di mini-laboratori dislocati sul territorio, all'interno delle aziende stesse, connessi con il laboratorio Centrale accreditato dalla Regione Sicilia, presso il Dipartimento SAAF dell'Università degli Studi di Palermo, e gestita in remoto dagli esperti fitopatologi dell'Università degli Studi di Palermo e del CORISSIA. Tutte le aziende presenti nel partenariato verranno seguite contemporaneamente, minimizzando i tempi di esecuzione dei processi e l'impatto economico delle analisi sui bilanci aziendali. La metodologia del "Blockchain" (Bermeo-Almeida et al., 2018) permetterà l'intervento correttivo in ogni nodo della catena stessa in modo da individuare esattamente il problema, il livello in cui si trova (semi-plantula-pianta-post raccolta) e intervenire tempestivamente.

Il progetto si basa su due approcci innovativi:

1. Metagenomica: darà la possibilità di conoscere con esattezza quali patogeni possono essere veicolati attraverso i semi di pomodoro nel territorio regionale e nazionale.
2. Analisi dei principali fattori di rischio fitopatologico nel territorio siciliano: saranno oggetto di studio attraverso l'analisi mediante kit diagnostici rapidi i seguenti patogeni: tomato brown rugose fruit virus (ToBRFV), tomato leaf curl New Delhi virus (ToLCNDV), la cui trasmissione per seme appare oggi controversa, ma probabile, tomato leaf curl disease (TYLCD), tomato spotted wilt virus (TSWV), pepino mosaic virus (PepMV), *Clavibacter michiganensis* subsp. *michiganensis* e *Xantomonas vesicatoria*.

Grazie alla tecnologia delle amplificazioni isotermitiche (Notomi et al., 2000) e PCR in tempo reale (Heid et al., 1996), attraverso appositi kit e mini amplificatori si potranno ottenere i risultati delle piante analizzate in solo 120 minuti dall'ingresso del campione in laboratorio, riducendo notevolmente i tempi di risposta e quindi di reazione per il contenimento del problema.

L'approccio proposto per prevenire e controllare le malattie delle piante si basa sull'integrazione di un nuovo strumento diagnostico di facile utilizzo e portatile (fig. 1), in grado di identificare i patogeni direttamente in azienda (Ditta produttrice di sementi, Vivaio, Azienda agricola, GDO) e un'applicazione mobile in cui caricare i dati ottenuti (Davino et al., 2017). I mini laboratori realizzati presso le aziende partner del progetto permetteranno alle

aziende stesse di poter analizzare i patogeni più importanti dal punto di vista fitosanitario ed economico. I laboratori saranno dotati di un mini apparato per la diagnosi rapida e di appositi kit diagnostici in grado di effettuare il saggio in maniera semplice. Inoltre, tutti gli apparati saranno gestiti tramite un software che in remoto invierà i dati al centro di ricerca per la raccolta ed elaborazione dei dati. Questa attività permetterà da un lato di identificare quali sono i patogeni che potrebbero influenzare le coltivazioni e dall'altro, soprattutto per i vivai, di capire se durante il ciclo produttivo esistono delle falle fitosanitarie su cui porre maggiore attenzione. Le interpretazioni statistiche ottenute saranno di rilevante importanza al fine di conoscere e studiare quali patogeni effettivamente insistono nel nostro territorio ed eventualmente stilare un piano di difesa adeguato.

Tale approccio consentirà alle aziende di avere in tempi estremamente rapidi risposte da remoto su come gestire le problematiche individuate. Questo è uno strumento fondamentale, che contribuirà a eliminare il tempo di spostamento dei tecnici con un conseguente risparmio nei costi della gestione aziendale, e renderà possibile monitorare continuamente le produzioni e fornire le adeguate soluzioni in tempo reale. Inoltre, permetterà di capire rapidamente se una malattia si sta sviluppando all'interno dell'azienda o se si sta diffondendo a livello regionale.

Attualmente non esiste un sistema integrato che metta in connessione micro-laboratori con un laboratorio di riferimento accreditato. Il progetto offre importanti vantaggi socio-economici attraverso la versatilità di utilizzo e consentirà agli attori della filiera orticola di essere più competitivi. Questo approccio di rete rappresenta una piattaforma metodologica per la prevenzione e il controllo delle malattie delle piante che potrà essere utilizzata come caso studio e successivamente adottata da altre realtà regionali, nazionali, europee o extra UE (fig. 2). Il progetto nel complesso offre un contributo alle seguenti priorità della politica di sviluppo rurale: miglioramento della produttività, della qualità del prodotto e della commercializzazione, incremento dei margini di redditività aziendali, riduzione dei costi; miglioramento della biodiversità; e diversificazione dei prodotti.

#### ABSTRACT

*Net micro-Lab: micro-laboratories network for phytosanitary management of the horticultural crops.* The Net micro-Lab project aims at setting up a network of remotely managed micro-laboratories in order to minimise the impact of vegetable plant diseases and to reduce the environmental impact through early diagnosis according to the following main ob-





Fig. 1 *Strumento portatile per la diagnosi rapida*



Fig. 2 *Schema di funzionamento dello strumento che permette di connettersi alla rete dei micro laboratori e al laboratorio centrale*



jectives: constitution of a production chain, with particular regard to tomato cultivation, composed of Nurseries, Farms and Producer Organisations (POs); *ex-ante* analysis on tomato seeds coming from foreign countries; creation of micro-laboratories interconnected to an accredited central laboratory; design of specific, sensitive and rapid diagnostic tools based on isothermal amplification (LAMP) or real-time PCR technique; and finally, development of a mobile app for continuous data management by the accredited laboratory.

## BIBLIOGRAFIA

- BEHJATI S. & TARPEY P.S. (2013): *What is next generation sequencing?*, «Archives of Disease in Childhood-Education and Practice», 98 (6), pp. 236-238.
- BERMEO-ALMEIDA O., CARDENAS-RODRIGUEZ M., SAMANIEGO-COBO T., FERRUZO-LA-GÓMEZ E., CABEZAS-CABEZAS R. & BAZÁN-VERA W. (2018, November): *Blockchain in agriculture: A systematic literature review*, in International Conference on Technologies and Innovation, Springer, Cham, pp. 44-56.
- DAVINO S., PANNO S., ARRIGO M., LA ROCCA M., CARUSO A.G. & BOSCO G.L. (2017): *Planthology: an application system for plant diseases management*, «Chemical Engineering Transactions», 58, pp. 619-624.
- DAVINO S., CARUSO A.G., BERTACCA S., BARONE S. & PANNO S. (2020): *Tomato Brown Rugose Fruit Virus: Seed Transmission Rate and Efficacy of Different Seed Disinfection Treatments*, «Plants», 9 (11), p. 1615.
- HEID C.A., STEVENS J., LIVAK K.J. & WILLIAMS P.M. (1996): *Real time quantitative PCR*, «Genome research», 6 (10), pp. 986-994.
- MENSAH J. & CASADEVALL S.R. (2019): *Sustainable development: Meaning, history, principles, pillars, and implications for human action: Literature review*, «Cogent Social Sciences», 5 (1), 1653531.
- NOTOMI T., OKAYAMA H., MASUBUCHI H., YONEKAWA T., WATANABE K., AMINO N., HASE T. (2000): *Loop-mediated isothermal amplification of DNA*, «Nucleic Acids Res», 28, e63.
- PANNO S., RUIZ-RUIZ S., CARUSO A.G., ALFARO-FERNANDEZ A., SAN AMBROSIO M.I.F. & DAVINO S. (2019): *Real-time reverse transcription polymerase chain reaction development for rapid detection of Tomato brown rugose fruit virus and comparison with other techniques*, «PeerJ», 7, e7928.



## Frutticoltura e orticoltura



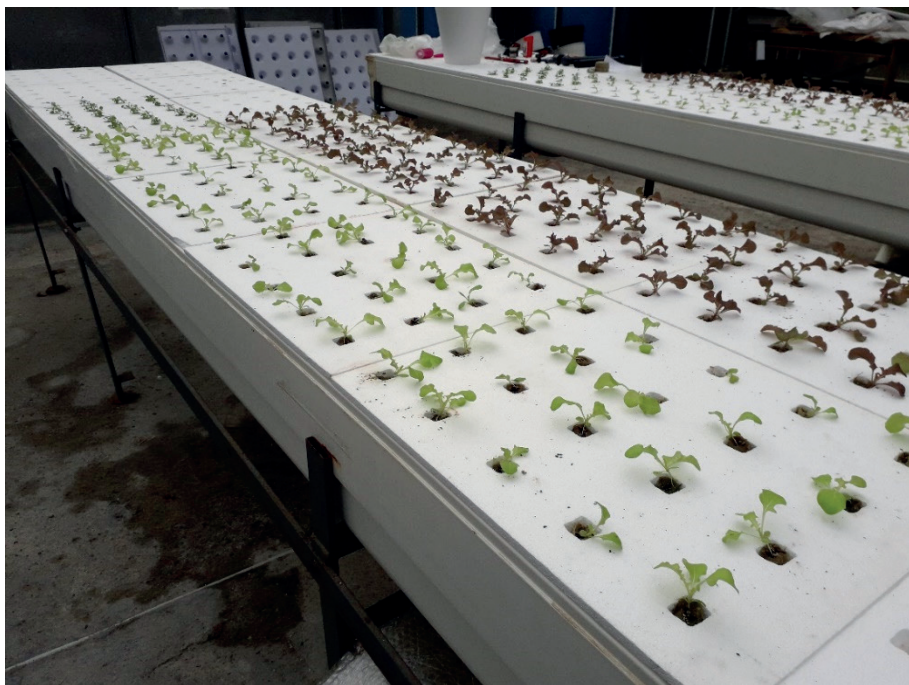
MARTINA PUCCINELLI<sup>1</sup>, ALBERTO PARDOSSI<sup>1</sup>, LUCA INCROCCI<sup>1</sup>

## La coltivazione aeroponica

<sup>1</sup> Dipartimento di Scienze Agrarie, Alimentari e Agro-ambientali, Università di Pisa

L'aeroponica è una particolare tecnica di coltivazione fuori suolo, o idroponica, utilizzata in serra o nelle cosiddette *indoor farms*. In questo sistema la pianta è coltivata con le radici libere di crescere in una canaletta chiusa, al buio. Invece di essere immerse in una soluzione stagnante (*floating system*) o ricircolante (*nutrient film technique* o *NFT*), le radici sono frequentemente irrorate (nebulizzate) da una soluzione nutritiva che viene recuperata dal fondo della canaletta e rimessa in circolo.

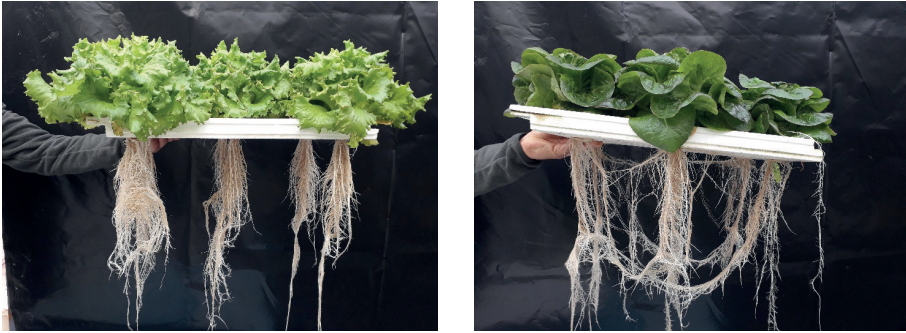
L'aeroponica trova applicazione in alcuni settori particolari, come la ricerca scientifica e la *vertical farming*. La facilità di accesso all'apparato radicale e di controllo dell'approvvigionamento idrico e minerale rende il sistema aeroponico particolarmente utile nella conduzione di esperimenti volti allo studio dell'assorbimento minerale e/o dello sviluppo dell'apparato radicale. Il sistema aeroponico risulta, inoltre, particolarmente vantaggioso nelle *vertical farms* grazie all'assenza di substrato e al ridotto volume di acqua in circolo che consentono di ridurre il peso degli impianti di coltivazione, rispetto, ad esempio, all'utilizzo del *floating system*. Il funzionamento a ciclo chiuso, o semi-chiuso (cioè con periodici rinnovi della soluzione ricircolante) del sistema aeroponico consente un'elevata efficienza d'uso dell'acqua e dei nutrienti. Inoltre, il fatto che le radici crescano sospese nell'aria garantisce un'adeguata presenza di ossigeno a livello radicale, eliminando il rischio di uno stress da ipossia e favorendo l'accrescimento radicale e l'assorbimento minerale (Mobini et al., 2015). Ulteriori vantaggi sono la facilità di pulizia dell'impianto e l'assenza di substrati esausti da smaltire a fine ciclo (Lakhari et al., 2018; Eldridge et al., 2020). Questa tecnica permette di ottenere produzioni senza l'utilizzo di pesticidi (*pesticide-free*), se abbinata a un buon controllo del clima in serra e alla lotta biologica.



*Il sistema aeroponico sperimentale installato all'Università di Pisa*

L'aeroponica ha suscitato un grande interesse da parte della comunità scientifica facendo registrare un netto e progressivo aumento, negli ultimi 10 anni, delle pubblicazioni riguardanti questo particolare sistema idroponico. Tuttavia, fino a qualche anno fa, l'aeroponica era considerata una tecnica interessante ma poco applicabile su scala commerciale per una serie di motivi: gli elevati costi di impianto e di gestione (es. per il notevole consumo di energia elettrica dovuto alle frequenti accensioni della pompa di irrigazione); l'eccessiva crescita dell'apparato radicale, in caso di cicli colturali superiori a 3 mesi; la difficoltà nella gestione della soluzione nutritiva ricircolante, soprattutto quando si utilizzano acque relativamente saline.

Il crescente interesse per le colture semi-artificiali (idroponica in serra) o artificiali (indoor/vertical farming) ha spinto alcune aziende a sviluppare sistemi aeroponici più affidabili e meno costosi rispetto a quelli proposti in passato. Inoltre, è possibile ottimizzare l'irrigazione negli impianti aeroponici stimando l'evapotraspirazione della coltura al variare dei parametri ambientali e dell'accrescimento delle piante (anche questo stimato mediante modelli di crescita della coltura), in modo da determinare la frequenza e la durata ot-



*L'apparato radicale di due specie di lattuga coltivate in aeroponica a fine coltura*

timali delle irrigazioni, allo scopo di ridurre i consumi di energia elettrica e l'usura delle pompe. Questo tipo di gestione potrebbe ridurre il numero degli interventi irrigui durante la giornata fino al 50% rispetto a un'irrigazione a cadenza fissa.

Il sistema di coltivazione aeroponico risulta particolarmente indicato per la coltivazione di ortaggi da foglia, che hanno un ciclo colturale relativamente breve (He et al., 2013; Puccinelli et al., 2021). Nell'ambito di un progetto della Regionale Toscana è stato realizzato un impianto aeroponico di dimensioni commerciali per la produzione di basilico. La produzione annua di basilico ottenuta in aeroponica è stata il 77% più alta rispetto a quella ottenuta dalla coltivazione in vaso, nella medesima azienda. In caso di cicli colturali più lunghi (oltre tre mesi), l'eccessiva crescita dell'apparato radicale crea un tappeto di radici sul fondo della canaletta, riducendo il flusso della soluzione nutritiva con conseguente sviluppo di ipossia radicale. Sono ancora in fase di sviluppo sistemi *ad hoc* che consentano la coltivazione di ortaggi da frutto, con cicli colturali lunghi e piante di dimensioni elevate.

Anche in aeroponica, la gestione della soluzione ricircolante può essere facilitata dall'utilizzo di sistemi di supporto alle decisioni che implementano modelli che stimano la concentrazione dei principali macronutrienti e del sodio (ad esempio SIMULHYDRO; Massa et al., 2011), durante la coltivazione, a prescindere dalla qualità dell'acqua utilizzata. Questo consente di gestire lo scarico della soluzione nutritiva conoscendo il consumo idrico (facilmente misurabile in aeroponica) e i parametri dimensionali dell'impianto. L'utilizzo di modelli previsionali integrati con la misura automatizzata del pH e della conducibilità elettrica (EC) è una tecnologia matura che consente di ottimizzare la gestione della fertirrigazione in aeroponica aumentando ulteriormente





*Piante di basilico coltivate in aeroponica pronte per il taglio della parte aerea. A destra un particolare dell'apparato radicale*

l'efficienza d'uso dell'acqua e degli elementi nutritivi e riducendo al minimo l'impatto ambientale provocato dal periodico scarico delle soluzioni nutritive esauste.

È possibile utilizzare la coltivazione aeroponica per la produzione di ortaggi biofortificati, ad es. con selenio o iodio (Puccinelli et al., 2021). Per biofortificazione si intende l'induzione di un aumento della concentrazione di nutrienti all'interno delle piante durante la coltivazione, invece che successivamente alla raccolta (Hefferon, 2015). I prodotti biofortificati sono prodotti con un alto valore nutraceutico, contenenti elevate quantità di molecole/composti in grado di apportare benefici alla salute umana. Il funzionamento a ciclo chiuso, o semi-chiuso, del sistema aeroponico e l'assenza di substrato consentono una precisa gestione della concentrazione nella soluzione nutritiva e un ridottissimo scarto dell'elemento utilizzato per la biofortificazione. Inoltre, il ridotto volume di soluzione nutritiva ricircolante rende la biofortificazione di alcune specie più facile rispetto al *floating system*.



## ABSTRACT

*Aeroponics.* Aeroponics is a particular soilless or hydroponic cultivation technique used in greenhouses and in indoor farms. The technical characteristics of aeroponic systems and their advantages, which has recently aroused new interest from the commercial sector, are summarized here.

## BIBLIOGRAFIA

- CHANG D.C., PARK C.S., KIM S.Y., LEE Y.B. (2012): *Growth and Tuberization of Hydroponically Grown Potatoes*, «Potato Research», 55, pp. 69-81. <https://doi.org/10.1007/s11540-012-9208-7>
- ELDRIDGE B.M., MANZONI L.R., GRAHAM C.A. ET AL. (2020): *Getting to the roots of aeroponic indoor farming*, «New Phytologist», 228, pp. 1183-1192. <https://doi.org/10.1111/nph.16780>
- HE J., QIN L., LEE S.K. (2013): *Root-zone CO<sub>2</sub> and root-zone temperature effects on photosynthesis and nitrogen metabolism of aeroponically grown lettuce (Lactuca sativa L.) in the tropics*, «Photosynthetica», 51, pp. 330-340. <https://doi.org/10.1007/s11099-013-0030-5>
- HEFFERON K.L. (2015): *Nutritionally enhanced food crops; progress and perspectives*, «International Journal of Molecular Sciences», 16, pp. 3895-3914. <https://doi.org/10.3390/ijms16023895>
- LAKHIAR I.A., GAO J., SYED T.N. ET AL. (2018): *Modern plant cultivation technologies in agriculture under controlled environment: A review on aeroponics*, «Journal of Plant Interactions», 13, pp. 338-352. <https://doi.org/10.1080/17429145.2018.1472308>
- MASSA D., INCROCCI L., MAGGINI R. ET AL. (2011): *Simulation of crop water and mineral relations in greenhouse soilless culture*, «Environmental Modelling and Software», 26, pp. 711-722. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2011.01.004>
- MOBINI S.H., ISMAIL R., AROUIEE H. (2015): *The impact of aeration on potato (Solanum tuberosum L.) minituber production under soilless conditions*, «African Journal of Biotechnology», 14, pp. 910-921. <https://doi.org/10.5897/AJB09.111>
- PUCCINELLI M., LANDI M., MAGGINI R. ET AL. (2021): *Iodine biofortification of sweet basil and lettuce grown in two hydroponic systems*, «Scientia Horticulturae», 276. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2020.109783>

STEFANO ANCONELLI<sup>1</sup>, UGO PALARA<sup>2</sup>, GIAMPIERO REGGIDORI<sup>3</sup>,  
FEDERICA ROSSI<sup>4</sup>, FRANCO ZINONI<sup>5</sup>

## L'uso dell'irrigazione sottochioma come strumento per la protezione dalle gelate tardive nelle piante da frutto

<sup>1</sup> Consorzio CER, Bologna

<sup>2</sup> Agrintesa soc. coop., Faenza

<sup>3</sup> APO-CONERPO, Villanova (BO)

<sup>4</sup> CNR- Istituto per la BioEconomia, Bologna

<sup>5</sup> ARP Ae- Agenzia Prevenzione Ambiente Energia Emilia-Romagna, Bologna

### INTRODUZIONE

Le gelate tardive, rese ancora più probabili dal cambiamento climatico, sono eventi estremi spesso ricorrenti negli anni e in grado di causare danni anche ingenti alle produzioni frutticole, in particolare drupacee ma anche pomacee, actinidia e vite. Le gelate primaverili, che avvengono dopo la schiusura delle gemme, spesso anticipata in presenza di alte temperature verso la fine dell'inverno, sono prevalentemente di tipo radiativo: in condizioni di notti serene, calma di vento e bassa umidità dell'aria si creano particolari condizioni di inversione termica e la temperatura in prossimità della chioma si abbassa in modo particolare, colpendo in particolare i palchi più bassi delle piante (fino a 1, 2 metri di altezza da terra). Gli organi in attivo accrescimento, inclusi i frutticini, si trovano quindi anche per molte ore, e spesso per diversi giorni consecutivi, esposti a temperature sotto lo zero e inferiori minimo termico che possono sopportare.

L'irrigazione antibrina offre, se praticata correttamente, una buona protezione rispetto a questi eventi. Essa si basa sul calore latente di solidificazione, ossia l'energia in forma di calore che l'acqua rilascia nel passaggio dallo stato liquido a quello solido ( $0,335 \text{ MJ/g} = 80 \text{ calorie/g}$ ). La forma di irrigazione più diffusa è quella soprachioma, utilizzando irrigatori a pioggia lenta oppure mini o micro-irrigatori. Questo sistema è largamente impiegato su melo in Trentino-Alto Adige e la sua efficacia è ben nota. Esso richiede tuttavia la disponibilità di grandi quantità di acqua irrigua. (anche  $300 \text{ m}^3/\text{ha}$  per notte).



Fig. 1 Particolare di un irrigatore a schiaffo per l'irrigazione soprachioma



Fig. 2 Quando la temperatura del bulbo umido inizia a salire a 2-3°C con aumento costante di almeno 1°C all'ora, il ghiaccio diventa opaco e inizia a sciogliersi: questo è il momento in cui arrestare l'irrigazione



Fig. 3 *Irrigazione sottochioma: il ghiaccio si forma sull' inerbimento che deve essere mantenuto nel frutteto*

In alcune specie, inoltre, il ghiaccio che si forma direttamente sugli organi della pianta (fig. 1) può causare danni diretti per rottura dei germogli, dei fiori o delle branche.

Essa ha inoltre costi elevati e, se applicata in modo continuo per diverse giornate, può causare saturazione idrica del suolo, asfissia e dilavamento dei nutrienti.

#### L'IRRIGAZIONE SOTTOCHIOMA

Negli ultimi anni, ad opera di un gruppo di ricerca che ha visto in prima linea il CER, coordinato da ARPA-Sim con CNR IBE, Università di Padova e di Parma, Cisa Mario Neri e APO-CONERPO, all'interno del progetto DI-SGELO, ha messo a punto l'impiego dell'irrigazione sottochioma su terreno inerbito come mezzo di prevenzione dalle gelate. In questo caso si utilizzano micro-irrigatori e la somministrazione dell'acqua non avviene sugli organi sulle piante, ma sulla superficie del terreno, inerbito (fig. 3). Il ghiaccio si forma quindi sulla superficie dell'erba, che deve essere mantenuta alta e fitta in modo da massimizzare la superficie in grado di fornire calore all'aria circostante. In

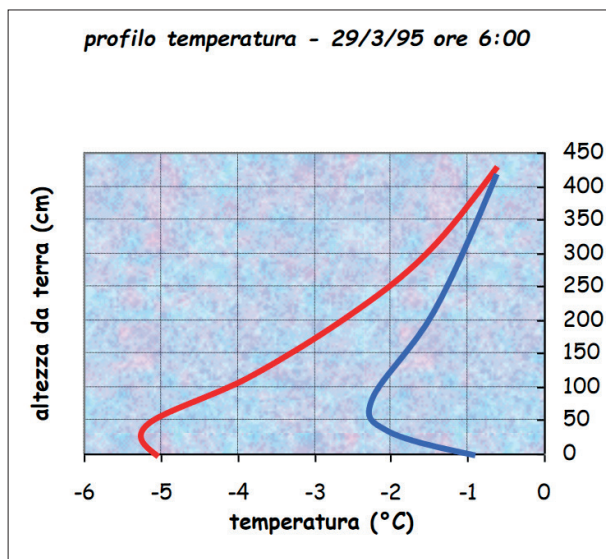


Fig. 4 *Profilo verticale della temperatura dell'aria durante l'irrigazione sottochioma (curva blu). La curva rossa indica il simultaneo profilo della temperatura dell'aria in una parcella adiacente in cui non viene praticata l'irrigazione*

questo tipo di irrigazione la pluviometria è attorno a 5-7 mm/ora, si impiegano micro-irrigatori da 40-70 l/h che devono essere installati uno per pianta, o comunque a 2.5, massimo 3 m sulla fila (devono infatti garantire una bagnatura uniforme dell'erba).

Interessante è il fatto del ridotto consumo di acqua. Infatti, questa irrigazione ha un funzionamento intermittente: vengono somministrati circa 1,5-2 l/m<sup>2</sup> per ora, praticando cicli di due minuti di irrigazione seguiti da 4-6 minuti di interruzione per consentire il congelamento dell'acqua e il rilascio di calore. Il concetto, in questo caso, è impedire o ridurre il gradiente termico verticale che vedrebbe la temperatura a livello della chioma più bassa di quella esterna, e quindi favorire l'aumento della temperatura al suolo a valori non pericolosi per gli organi della pianta (fig. 4). La temperatura della superficie erbosa bagnata su cui si forma il ghiaccio si mantiene prossima a 0°C, e quindi anche l'aria in sua prossimità è più calda rispetto a un impianto non protetto.

Le fasi di avvio e di arresto della irrigazione richiedono anche in questo caso particolari cautele: i termometri posizionati a 1,5 -2 m dal suolo danno una indicazione tardiva (un paio di ore) del rischio. Occorre far partire l'irrigazione quando la temperatura del bulbo asciutto al suolo arriva 0°C, e arrestarla solo quando la temperatura al suolo risale sopra lo 0°C.

Il funzionamento intermittente consente una riduzione drastica dell'apporto idrico, riducendo quindi la "competizione" tra agricoltori nello stesso territorio, minore impatto ambientale, senza considerare i minori costi,



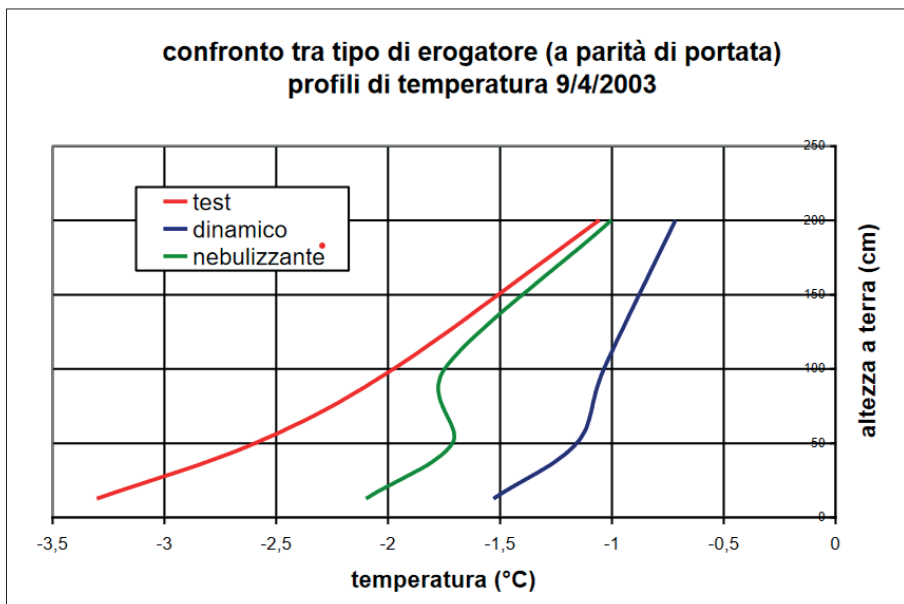


Fig. 5 Efficacia della tipologia di erogatori sull'effetto termico

i ridotti rischi di errori e la capacità di proteggere superfici più estese e più settori del frutteto. Occorre però ricordare come il sistema funziona in modo ottimale solo in pianura o in condizioni di minima pendenza, e quando sono presenti superfici estese. Il sistema è efficiente nel caso di gelate per irraggiamento non inferiori a  $-4$ ,  $-6^{\circ}\text{C}$ .

Test specifici condotti durante il progetto hanno dato alcuni risultati importanti per la definizione più corretta del tipo di irrigatori, della loro efficienza e del loro utilizzo<sup>1</sup>.

In primo luogo, gli irrigatori che, a parità di portata, hanno dato i migliori risultati, sono quelli dinamici, che determinano gocce più grosse, con portate comprese tra 35 e 70 l/ora, rispetto a erogatori statici che hanno un getto più nebulizzato, quindi soggetto a evaporazione, con conseguente sottrazione di calore (fig. 5). È altresì risultato fondamentale non scendere al di sotto di una pluviometria di 2 mm/ora; infatti pluviometrie inferiori hanno mostrato di poter produrre incrementi massimi di  $1\text{-}2^{\circ}\text{C}$ , del tutto insufficienti quando le

<sup>1</sup> Come si calcola la pluviometria: considerando spruzzatori da 50 l/ora posizionati ogni 10 m<sup>2</sup> (2 m sulla fila e 5 tra le fila), si ottengono 5 l/m<sup>2</sup>/ora cioè 5 mm/ora. Se si irriga per 2 minuti e si effettuano 2 minuti di pausa, la pluviometria è 2.5 mm/ora.

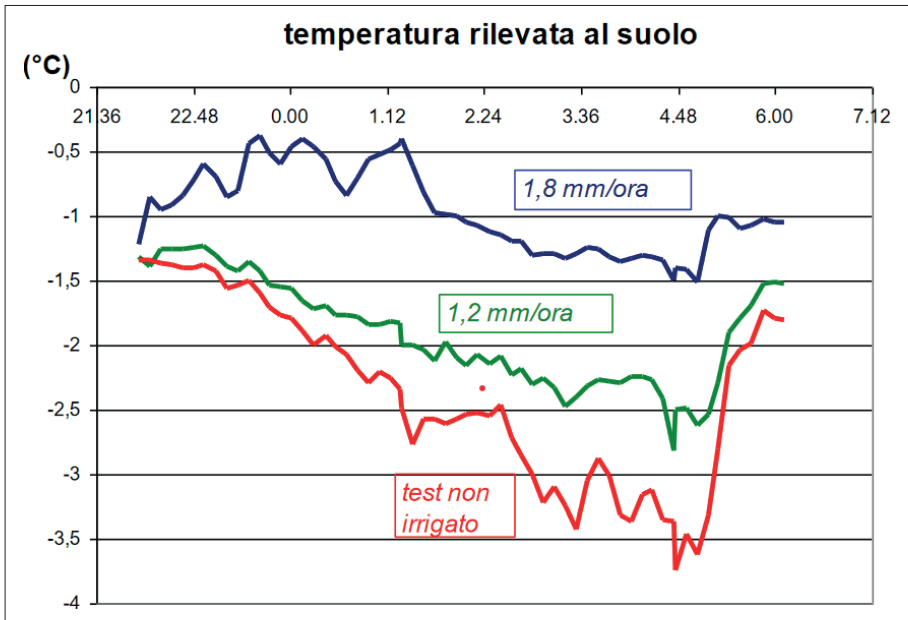


Fig. 6 *Influenza della pluviometria sull'effetto termico*

temperature dell'aria si attestano attorno ai -5,-6°C, cosa frequente nelle gelate per irrigamento. In casi di minime molto basse, sono utili pluviometrie superiori a 3-3.5 mm/ora (fig. 6).

Con portate di 40-50 l/ora è prudentiale un turno che alterna 2 minuti di irrigazione con 4 minuti di pausa.

È possibile un'automazione del sistema per facilitarne la operatività posizionando a circa 50 cm da terra una sonda elettrica per la misura della temperatura e collegandola a una centralina elettronica che invia il comando alla pompa e alle idrovalvole, che eventualmente commutano i settori irrigui.

#### ABSTRACT

*Spring frost protection in orchards by under canopy sprinkler irrigation.* Spring frost events are predicted to increase due to climate change. Yield losses caused by late radiative frosts can be highly remarkable in many fruit species, mostly stone fruits, grapes and kiwi, and active protection means are part of a general need for adaptation in orchard management. The principle of using over canopy and under canopy irrigation is based on the property of water that, when freezing, releases heat. Technical and management tools able to magnify such effect have been developed and here described for under canopy application,

when the icing of water sprinkled to orchard grass allows adequate increase of the air temperature at canopy level.

#### BIBLIOGRAFIA

- ANCONELLI S., FACINI O., MARLETTO V., PITACCO A., ROSSI F. (2002): *Micrometeorological test of microsprinklers for frost protection of fruit orchards in Northern Italy*, «Physics and Chemistry of the Earth», parts A/B/C, vol. 27, issues 23-24, pp. 1103-1107.
- ANCONELLI S., ANTOLINI G., FACINI O., GEORGIADIS T., MARLETTO V., NARDINO M., PALARA U., PASQUALI A., PRATIZZOLI W., REGGIDORI G., ROSSI F., SELVINI ZIONI. F. (2004): *Previsione e difesa delle gelate tardive*, «Notiziario tecnico CRPV», n. 70, ISSN 1125-7342, 111 pp.
- ROSSI F., FACINI O., LORETI S., NARDINO M., ANCONELLI S., ZINONI F. (2002): *Meteorological and micrometeorological applications to frost monitoring in northern Italy orchards*, «Physics and Chemistry of the Earth», parts A/B/C, vol. 27, issues 23-24, pp. 1077-1089.
- SNYDER R.L., DE MELO ABREU (2005): *Frost Protection: fundamentals, practice, and economics*, 2 volumi. FAO Ed, ISBN: 92-5-105328-6
- ZINONI F., ANTOLINI G., CAMPISI T., MARLETTO V., ROSSI F. (2002): *Characterisation of Emilia-Romagna region in relation with late frost risk*, «Physics and Chemistry of the Earth», parts A/B/C, Vol 27, Issues 23-24, pp. 1091-1101.
- ZINONI F. (2008): *Il problema delle gelate in agricoltura in Italia e nel mondo*, «Italian Journal of Agrometeorology», 7, 10 (3).
- ZINONI F., ROSSI F., PITACCO A., BRUNETTI A. (2000): *Metodi di previsione e difesa dalle gelate tardive*, Calderini edagricole, Bologna, 172 pp. ISBN: 8820647389



Tecniche agronomiche



NICOLA PASETTI<sup>1</sup>, GABRIELE COLA<sup>2</sup>, LUIGI MARIANI<sup>3</sup>,  
TEODORO GEORGIADIS<sup>4</sup>, FEDERICA ROSSI<sup>4</sup>

## Geosafe – un sistema di caratterizzazione agro-climatica a fini assicurativi

<sup>1</sup> ANIA Servizi e Formazione Srl – Milano

<sup>2</sup> Agrometeorologo e Docente presso Università degli Studi di Milano

<sup>3</sup> Agrometeorologo e Docente presso Università degli Studi di Milano e di Brescia

<sup>4</sup> CNR-Istituto per la BioEconomia, Bologna

### PREMESSA

Secondo l'Organizzazione Meteorologica Mondiale (WMO), ogni attività in ambito meteorologico e climatologico deve necessariamente fondarsi su dati di buona qualità, prodotti con regolarità e sull'interpretazione degli stessi con modelli adeguati. Tali affermazioni riecheggiano la famosa frase di Galileo Galilei «Le cognizioni più eccellenti delle cose naturali <si ottengono> con gli studii e contemplazioni fatte sopra questo grandissimo libro che essa natura continuamente tiene aperto innanzi a quelli che hanno occhi sulla fronte e nel cervello»<sup>1</sup> intendendo per occhi sulla fronte le osservazioni e per occhi nel cervello i modelli. La citazione di Galileo è particolarmente calzante se si considera che già Galileo e la sua scuola applicarono la “nuova scienza” alla meteorologia, da un lato creando un nuovo strumentario (termometro, barometro, pluviometro ed evaporimetro) e dall'altro istituendo la prima rete osservativa attiva a livello mondiale.

Il WMO ripropone da decenni queste idee attraverso normative raccolte in manuali resi disponibili agli operatori tramite il proprio sito internet (es: WMO n. 8 - Guide to meteorological instruments and methods of observation, WMO n. 134 - Guide to Agrometeorological Practices e WMO n. 100 - Guide to Climatological Practices).

A tali fondamenti scientifici e culturali si ispira l'attività condotta da ANIA (Associazione Nazionale fra le Imprese Assicuratrici), in collaborazione con

<sup>1</sup> Galileo Galilei, lettera di Galileo a Piero Dini del 21 maggio 1611, la 532 dell'Edizione Nazionale, righe 209-248.

alcune istituzioni scientifiche, in campo climatologico e che mira a offrire al settore assicurativo italiano strumenti originali in grado di supportare le proprie attività in ambito agricolo e non solo.

#### GLI OBIETTIVI DEL PROGETTO DI ANIA E I DESTINATARI

L'obiettivo del servizio Web "Geosafe" è quello di consentire alle imprese assicuratrici di avere accesso a un database che fornisca informazioni utili a supporto delle diverse fasi del processo di business assicurativo. Con questo progetto si è voluta creare una banca dati tramite la quale le imprese possano ricavare un indice di rischio, applicabile a livello dell'intero territorio nazionale, in relazione alle condizioni di pericolosità e di esposizione degli *asset*.

#### LO SCHEMA DI ANALISI E I PRIMI RISULTATI OTTENUTI

Il tracciato generale è il seguente:

1. raccolta dati meteo giornalieri di base (temperatura massima e minima, precipitazione e velocità del vento);
2. controlli di qualità su tali dati;
3. ricostruzione dati mancanti o di qualità inadeguata al fine di ottenere serie complete;
4. spazializzazione con restituzione in carte nazionali georeferenziate dei dati meteo di base in formato raster ad alta risoluzione (pixel = 400x400 m);
5. produzione di carte nazionali di variabili meteorologiche derivate (neve, potenziale grandinigeno) e degli indici agroclimatici;
6. produzione di elaborati tabellari a scala locale;
7. incrocio degli indici agroclimatici con lo sviluppo fenologico delle colture agrarie di interesse al fine di valutare la suscettibilità delle piante coltivate ai diversi fattori di rischio meteorologico.

I dati sono stati attinti dalle reti dei servizi meteorologici regionali, dalla rete dell'ex servizio idrografico (SIMN), dalla rete GSOD delle NOAA, dalla rete di CREA-Cma e dalla rete rete SCIA.

Si è operato sul periodo 1951-2018 trattando un numero totale di 9485 (fig. 1). La distribuzione altitudinale è riportata in figura 2.

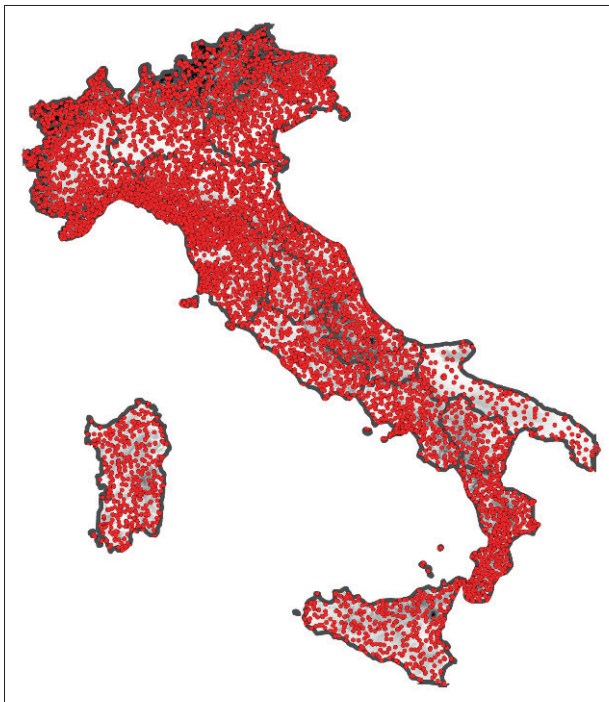


Fig. 1 Carta con le 9485 stazioni considerate nell'analisi

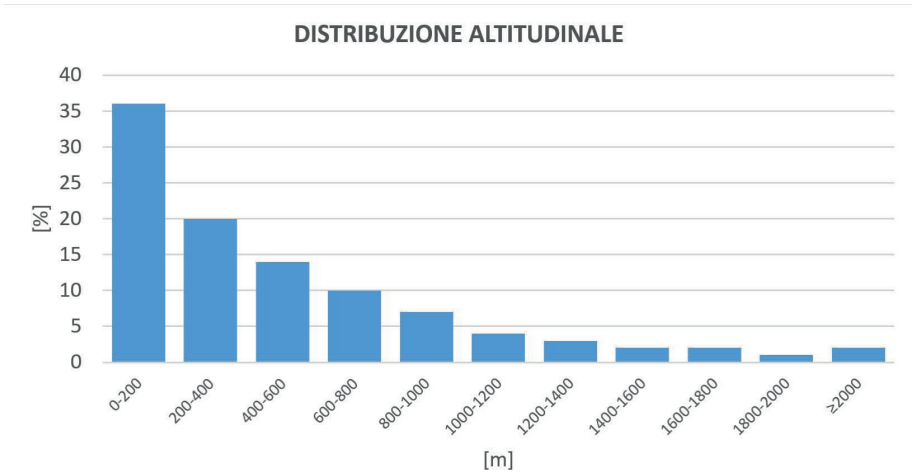


Fig. 2 Distribuzione altitudinale delle stazioni utilizzate per la creazione del database

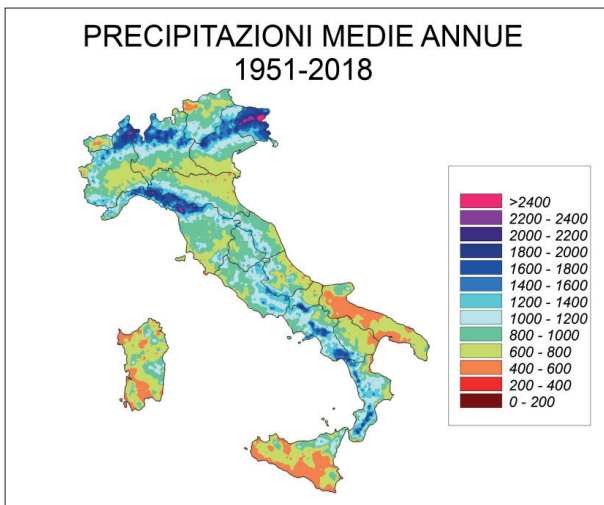


Fig. 3 *Carta delle precipitazioni medie annue 1951-1980*

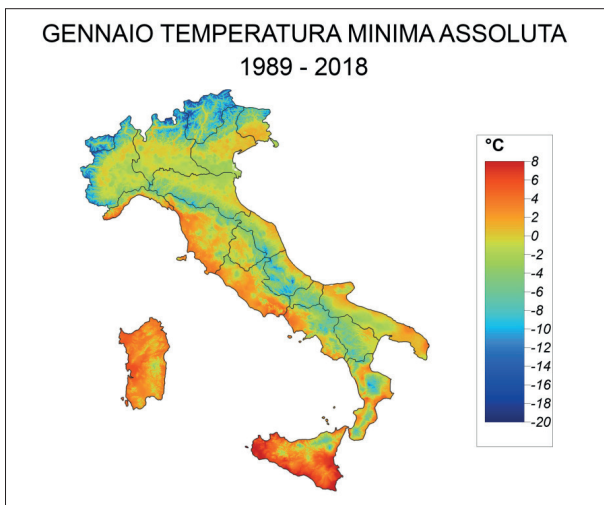


Fig. 4 *Carta delle temperature minime assolute di gennaio per il trentennio 1989-2018*

Di seguito vengono riportati alcuni esempi di output.

In particolare, la carta delle precipitazioni 1951-1980 (fig. 3) evidenzia fenomeni ben noti quali i minimi endoalpini (Val d'Aosta, Bassa Valtellina e Sud Tirolo) e i minimi del Meridione (Sicilia, Sardegna, Puglia), i massimi alpini (Carnia e Alto Lago Maggiore) e quello dell'Appennino toscano-emiliano-ligure. La carta dei minimi termici assoluti di gennaio per il trentennio 1989-2018 (fig. 4) fa risaltare il caratteristico gradiente latitudinale mentre la carta dei massimi termici assoluti di gennaio per il trentennio 1989-2018 (fig. 5) evidenzia l'occorrenza sul Nord-Ovest di massimi superiori ai 20°C, effetto del föhn.

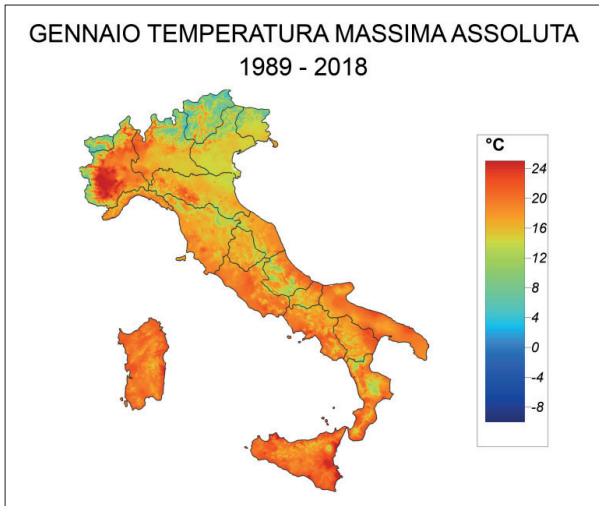


Fig. 5 *Carta delle temperature massime assolute di gennaio per il trentennio 1989-2018*

La grandine, evento meteorico di particolare negatività per le colture agrarie, merita un discorso a parte in quanto le reti osservative coprono porzioni molto ridotte del territorio nazionale.

Per tale ragione si è optato per definire un potenziale grandinigeno in base ai dati di temperatura al suolo e a un indice di instabilità atmosferica, lo “standard lifted index”, secondo lo schema proposto da Mohr et al. (2015). I risultati giornalieri ottenuti per il periodo 1973-2019 a partire dai dati da stazioni al suolo e da radiosondaggio sono in attesa di confronto con i dati di danno, in via di elaborazione, per il settore agricolo.

#### I PRODOTTI AGROCLIMATICI

Per questa prima fase di sviluppo dei prodotti GEOSAFE, la creazione di prodotti agroclimatici riguarda quattro colture molto importanti per l’areale italiano: mais, frumento, vite e olivo.

Per ogni coltura, l’utente, una volta scelto il punto di interesse su mappa e definite le parametrizzazioni del caso (data di semina per le erbacee, classe di precocità, periodo di riferimento per l’elaborazione statistica), ottiene le statistiche a passo decennale delle fasi fenologiche in scala BBCH e dei principali indici agrometeorologici, fra cui gli indici di stress da eccesso termico da basse ed alte temperature e da carenza idrica. Tali indici di stress sono ottenuti mediante curve di risposta che descrivono la sensibilità della pianta agli agenti atmosferici in funzione delle fase fenologica.

## I MEZZI DI DIFFUSIONE DELL'INFORMAZIONE

I risultati delle analisi condotte possono essere consultati tramite un'applicazione *WebGIS*<sup>2</sup>, resa disponibile a tutte le imprese assicuratrici o aziende che ne richiedessero l'accesso (l'abbonamento è annuale). L'applicazione permette di visualizzare, consultare e analizzare i dati e, tramite un *Web service*, interrogare direttamente il database per ottenere le informazioni relative agli *asset* esposti e al rischio complessivo. Lo studio si avvale del software GIS (*Geographic Information Systems*) che permette di gestire e analizzare le differenti componenti dei dati utilizzati a partire dalla localizzazione nello spazio degli elementi esposti e dei fenomeni naturali indagati, al fine di effettuare analisi quantitative del livello di rischio esistente in una data unità territoriale.

## SVILUPPI FUTURI

I prodotti agrometeorologici del sistema GEOSAFE sono stati concepiti per essere oggetto di periodico aggiornamento della base dati, al fine di consentire una più corretta caratterizzazione statistica della fase climatica corrente a supporto delle attività assicurative.

L'idea per un futuro sviluppo è di corroborare i trend con gli output previsionali dei modelli GCM, partendo però da una posizione di prudenza nell'uso di strumenti modellistici previsionali, in particolare se applicati a dati pluviometrici. Si intende in tal modo seguire gli inviti della stessa IPCC, che nel suo report del 2013 evidenzia in particolare che per quanto attiene alle nubi: «Molti processi in nube non sono realisticamente riprodotti negli attuali GCMs, e quindi le risposte che ne provengono in relazione al cambiamento climatico restano incerte» (*Many cloud processes are unrealistic in current GCMs, and as such their cloud response to climate change remains uncertain*).

Analogamente, il report sottolinea come nonostante i progressi nella simulazione degli andamenti a larga scala delle precipitazioni, le performances dei modelli di precipitazione continuano ad essere meno soddisfacenti di quelle dei modelli che simulano la temperatura superficiale. (*The simulation of large-scale patterns of precipitation has improved somewhat since the AR4, although models continue to perform less well for precipitation than for surface temperature*).

<sup>2</sup> [www.geosafe.ania.it](http://www.geosafe.ania.it)



## ABSTRACT

*Geosafe: an Agroclimatic Characterization System for Farming Insurance.* “Geosafe” is a web-based service enabling insurance agencies to access a climate data-base supporting farm insurance business. Risk indexes are elaborated on the whole national territory according to the local hazard conditions and exposure. The current agrometeorological products are developed for maize, wheat, grape and olive. For each of these crops, phenological models represent the specific weather sensitivity. Meteorological informative layers are then used to define heat stresses, low temperature and drought hazards.

## BIBLIOGRAFIA

- IPCC AR5, Ch. 5, *Clouds and Aerosols*, p. 584.  
 IPCC AR5, Ch. 9, *Evaluation of climate models*, p. 743.  
 MOHR S., KUNZ M. AND KEULER K. (2015): *Development and application of a logistic model to estimate the past and future hail potential in Germany*, «J. Geophys. Res. Atmos.», 120, pp. 3939-3956, doi:10.1002/2014JD022959.



L'ACCADEMIA PER IL POST COVID-19

*Altri contributi*



## Floricultura e florovivaismo



LAURA PISTELLI<sup>1,2</sup>, LUISA PISTELLI<sup>2,3</sup>, BARBARA RUFFONI<sup>4</sup>

## Alimentazione sana con fiori commestibili: dalla tradizione al “functional food”

<sup>1</sup> Department of Agriculture, Food and Environment (DAFE), University of Pisa

<sup>2</sup> Interdepartmental Research Center “Nutraceuticals and Food for Health”, University of Pisa

<sup>3</sup> Department of Pharmacy, University of Pisa

<sup>4</sup> CREA – Research Centre for Vegetable and Ornamental Crops, Sanremo (IM)

La nostra dieta mediterranea comprende molti alimenti costituiti da fiori. Sulla nostra tavola i fiori eduli sono inclusi nella tipologia ortaggi; esempi classici che sotto il profilo botanico sono ascrivibili a infiorescenze sono cavolfiori e broccoli o le gemme fiorali come carciofi e capperi. Altri fiori utilizzati spesso in cucina sono i petali, quelli di zucchini, di borragine, di acacia, e organi fiorali come gli stimmi di zafferano. Alcuni fiori di erbe aromatiche sono commestibili, come la salvia comune, il timo e la menta, utilizzati per insaporire diverse pietanze (Fernandes et al., 2017). I fiori sono spesso utilizzati per la preparazione di infusi, di liquori, oli e aceti aromatizzati.

L'uso dei fiori in cucina risale a migliaia di anni fa, già nella antica civiltà sumera, persiana, egizia, oltre a quella greca e romana, fino a quella cinese (Lu et al., 2016; Fernandes et al., 2017). Nell'Impero romano si utilizzavano fiori di lavanda, violette e rose per insaporire diverse ricette (Cunningham, 2015). Il consumo di fiori si ritrova anche nel Medioevo: in Francia venivano impiegati i fiori di calendula mentre in varie aree d'Europa il dente di leone (*Taraxacum officinale* Web.) e i fiori di sambuco (*Sambucus nigra* L.), con impieghi sopravvissuti fino ai giorni nostri (Pires et al., 2017).

Sia nella cucina tradizionale che in quella innovativa, i fiori commestibili vengono spesso utilizzati come guarnizione dei piatti, per migliorare il valore estetico e il gusto. Infatti, questi fiori sono in grado di rendere una ricetta particolare e caratteristica per il loro colore, profumo e gusto insolito. I fiori commestibili sono spesso usati freschi (es. in insalate) oppure cucinati, ma possono essere utilizzati anche essiccati (come le tisane), nei cocktail (nei cubetti di ghiaccio), glassati nello zucchero e conservati in distillati.

I fiori commestibili attualmente non hanno soltanto una funzione decorativa, poiché possiedono caratteristiche nutrizionali che devono essere valoriz-

zate. Sebbene facciano principalmente parte di un mercato di nicchia, i fiori commestibili stanno guadagnando popolarità grazie ai recenti studi che hanno messo in evidenza la loro ricchezza di nutrienti e di composti bioattivi diversi, supportando una crescente domanda mondiale (Fernandes et al., 2017).

Nello studio finanziato dal progetto INTERREG-ALCOTRA ANTEA (n. 1139-2017-2020) sono state selezionate nuove specie per accertare la presenza di alcune sostanze fitochimiche importanti per il loro valore nutrizionale e salutistico e la loro stabilità durante il processo di conservazione.

Sebbene Lu et al. (2016) hanno riferito di 180 specie, 100 generi e 97 famiglie che producono fiori commestibili, nessun elenco ufficiale è stato pubblicato da qualsiasi organizzazione internazionale (Fernandes et al., 2017) e solo una piccola parte di essi è stata studiata finora (Pires et al., 2019).

Il primo obiettivo del progetto ANTEA è stato la selezione di piante ad alto valore ornamentale con fiori caratterizzati da gusti curiosi e sorprendenti. Diverse specie vegetali sono state selezionate al fine di fornire prove del valore nutraceutico di alcune specie tradizionalmente utilizzate nella cucina e di specie già presenti sul mercato (Marchioni et al., 2020a). Sulla base di questi scopi, la letteratura (libri, recensioni, riviste scientifiche) e la conoscenza popolare sono risultate essenziali per la selezione.

I fiori sono generalmente composti dal 70% al 95% di acqua e caratterizzati da un importante valore nutritivo dovuto a diversi metaboliti primari e secondari, come zuccheri, proteine, lipidi, minerali e diversi composti quali es. polifenoli, antociani, alcune vitamine. Molte di queste molecole sono importanti per la salute umana, in quanto hanno proprietà antiossidante, antimicrobica e antinfiammatoria (Loizzo et al., 2017; Lu et al., 2016).

Dal punto di vista nutrizionale, il fiore può essere suddiviso in tre componenti principali: polline, nettare, petali e sepali (Mlcek and Rop, 2011). Nonostante la sua piccola quantità e il suo cattivo sapore, il polline può essere un'importante fonte di molecole ad alto valore biologico perché è ricco di proteine, aminoacidi, carboidrati, lipidi, carotenoidi e flavonoidi. Il nettare, invece, è dolce, è allo stato liquido e contiene una miscela equilibrata di zuccheri, oltre ad aminoacidi, proteine, ioni inorganici, lipidi, acidi organici, sostanze fenoliche, alcaloidi e terpenoidi. Infine, la parte restante del fiore (es. petali e sepali), oltre ai suddetti composti, anche se meno concentrati, contiene vitamine, minerali e molecole con proprietà antiossidante, che includono anche i pigmenti (Mlcek and Rop, 2011). I composti antiossidanti sono infatti in grado di rallentare i processi di senescenza causati dai radicali liberi.

Alcuni ricercatori hanno condotto indagini sui petali di alcune delle specie vegetali più conosciute e apprezzate, disponibili sul mercato quali viola, nasturzio e borragine (Kelley et al., 2001; 2002).



Il colore dei fiori è risultato il fattore più importante in grado di influenzare l'atteggiamento dei consumatori nei confronti del consumo di fiori commestibili; in particolare 1) le miscele di colori dei fiori sono preferite rispetto ai singoli colori; 2) i fiori gialli, arancioni e rossi sono preferiti rispetto ai colori blu e viola scuro (questi ultimi sono più apprezzati se miscelati ai primi, secondo il punto 1); 3) sono apprezzati contenitori di fiori commestibili con più di una specie (Kelley et al., 2001, 2002).

Aroma e profumo sono ulteriori caratteristiche distintive della maggior parte dei fiori commestibili attualmente consumati (Fernandes et al., 2017; Najar et al., 2019; Marchioni et al., 2020a,b). Entrambi sono essenziali per invogliare le persone ad acquistare questo prodotto (Chen and Wei, 2017; Guinè et al., 2017), e sono essenziali per gli chef professionisti che sono sempre alla ricerca di nuovi gusti e sapori, l'ingrediente segreto in grado di rendere i loro piatti unici e inimitabili.

La loro scelta può essere guidata da specifici profili sensoriali, realizzati in panel professionali, in grado di caratterizzare il gusto di ogni fiore commestibile.

Una parte della ricerca eseguita all'interno del progetto ANTEA ha riguardato la selezione e la caratterizzazione fitochimica di nuovi fiori commestibili, la qualità nutritiva e i composti aromatici, poiché il loro consumo fresco dovrebbe essere preferito per preservare la qualità nutritiva e i composti aromatici (Najar et al., 2019; Marchioni et al., 2020a,b,c). All'interno del progetto sono stati studiati dodici nuovi fiori, appartenenti alla famiglia delle Lamiaceae, nota per includere diversi generi con spiccate proprietà officinali (genere *Salvia*, *Ocimum* tra i più conosciuti). Tra i cinque generi esaminati, *Agastache*, *Monarda*, *Nepeta*, *Ocimum*, *Salvia*, la maggior parte dei fiori esaminati hanno evidenziato discreti contenuti fitonutrizionali nei petali. Gli ibridi e le varietà *Agastache* e *Ocimum* sono caratterizzati dalla più alta quantità di polifenoli totali e carotenoidi totali, mentre l'ibrido *Ocimum* × *citriodorum* ha mostrato anche la migliore attività di eliminazione dei radicali liberi e *Agastache aurantiaca* 'Sunset Yellow' la quantità più rilevante di zuccheri solubili. Gli antociani sono degni di nota nei fiori rossi di *Monarda didyma* e *Salvia discolor* (colore viola scuro). Tutte le specie selezionate sono caratterizzate da piccole quantità di acido ascorbico; questa vitamina era significativamente più rappresentata in altri generi, come *Tagetes* (famiglia Asteraceae). Sono stati identificati numerosi terpeni (mono e sesquiterpeni) che definiscono il profumo dei fiori commestibili.

Per garantire un prodotto qualitativamente soddisfacente, una particolare attenzione però deve essere applicata alle diverse tecniche di conservazione, per minimizzare il deterioramento del profilo nutrizionale e non



*Alcune preparazioni culinarie con fiori eduli preparate da chef del progetto Antea, proposte nelle diverse riunioni (foto di Laura Pistelli). Un libro di ricette a base di fiori eduli è stato realizzato, ed è scaricabile dal sito ([http://www.interregantea.eu/Doc/I\\_fiori\\_print.pdf](http://www.interregantea.eu/Doc/I_fiori_print.pdf))*

solo quello morfologico. Le tecnologie generalmente utilizzate si basano su principi fisico-chimici differenti e hanno effetti diversi sull'aspetto e sulla composizione nutrizionale dei fiori. Le più comuni tecniche utilizzate sono: la refrigerazione e il congelamento, oltre a diverse tipologie di essiccazione.

Alcuni esempi dell'applicazione di queste tecniche mettono in evidenza l'influenza del trattamento sui principali componenti e sostanze bioattive dei fiori (Kelley, 2003; Landi et al., 2017; Marchioni et al., 2019). Tenendo conto delle metodologie più comuni di stoccaggio, vale a dire piccole confezioni di plastica rigida a 4 ° C in cella frigorifera, è stata valutata la conservazione di quattro diversi fiori (*Ageratum houstonianum*, *Tagetes lemmonii*, *Salvia dorisiana*, *Pelargonium odoratissimum* 'Lemon'). *T. lemmonii* ha mantenuto una ottima qualità visiva, alti livelli di polifenoli totali, flavonoidi e acido ascorbico fino a 6 giorni di conservazione al freddo. Al contrario *A. houstonianum*, l'altra specie appartenente alla famiglia delle Asteraceae, è stato il fiore più compromesso, soffrendo la conservazione a freddo per perdita di peso, imbrunimento dei corimbi e probabilmente anche per la sua morfologia floreale. Tuttavia, non sono state osservate variazioni significative nel contenuto di metaboliti secondari, anche se è stata rilevata una riduzione dell'attività antiossidante. In tutte le specie studiate è stato notato un notevole aumento dei monoterpeni durante la conservazione, a discapito dei sesquiterpeni (Marchioni et al., 2020c).

Una particolare attenzione deve essere rivolta verso possibili allergie alimentari, che possono determinare disturbi gravi in alcune persone; per questo motivo, utilizzando database internazionali (COMPRISE and Allergen Nomenclature), sono stati evidenziati potenziali allergeni nel polline e negli stami dello zafferano, dovuti alla presenza della proteina profilina (Feo et al., 2019; Lucarini et al., 2020). Ulteriori studi sono in atto per verificare la tossicità di 62 fiori selezionati nell'ambito del progetto ANTEA.

I fiori aggiungono un valore visivo molto grande ai piatti e quindi sono preziosi per la gastronomia, e l'interesse per i fiori commestibili è in aumento. Qualsiasi fiore usato come cibo, anche se è noto per essere consumato, va sempre testato per il gusto prima di essere utilizzato su un piatto o una bevanda.

È estremamente importante ricordare che i fiori usati come cibo non sono quelli venduti nei negozi di fiori o nei garden center per i giardini o come ornamento per la casa, che potrebbero essere stati trattati con prodotti antiparassitari tossici per l'uomo e comunque non registrati per l'uso su piante a uso alimentare. I fiori commestibili devono essere coltivati in modo interamente biologico e non aver avuto trattamenti chimici in modo da escludere qualsiasi tossicità.

I risultati del progetto ANTEA ([www.interregantea.eu](http://www.interregantea.eu)) hanno indicato le peculiari caratteristiche metaboliche e fisiologiche delle specie floreali alla conservazione a freddo. La ricerca attuale, quindi, rivolge la sua attenzione alla individuazione delle tecniche che inibiscono il deterioramento dei fiori commestibili, come confezionamento in atmosfera modificata, rivestimenti in film commestibili, alta pressione idrostatica, per migliorarne la distribuzione e renderli più appetibili ai consumatori.

## RIASSUNTO

I fiori commestibili appartengono alla tradizione culinaria di molte culture. Colori, forme, sapori e aromi rendono i fiori protagonisti di piatti innovativi e ricercati, non più semplice ornamento di diverse ricette. Nel progetto INTERREG-ALCOTRA ANTEA state selezionate nuove specie commestibili. I risultati scientifici evidenziano come questi fiori siano ricchi di molecole benefiche per la salute (zuccheri, antiossidanti, vitamine, minerali) specialmente se consumati freschi entro pochi giorni dalla raccolta.

## ABSTRACT

*Healthy nutrition with edible flowers: from tradition to "Functional food".* Edible flowers belong to the culinary tradition of many cultures. Colors, shapes, flavors and aromas of

flowers play crucial role for innovative and refined dishes, no longer considered a simple ornament of different recipes. New edible species have been selected in the INTER-REG-ALCOTRA ANTEA. The scientific results show that edible flowers are rich in molecules beneficial for health (sugars, antioxidants, vitamins, minerals) especially if freshly consumed within few days of harvest.

## BIBLIOGRAFIA

- CHEN N.-H., WEI S. (2017): *Factors influencing consumers' attitudes towards the consumption of edible flowers*, «Food Qual Prefer», 56, pp. 93-100.
- CUNNINGHAM E. (2015): *What nutritional contribution do edible flowers make?*, «J. Acad. Nutr. Diet.», 115, p. 856. DOI: 10.1016/j.jand.2015.03.002.
- DRAVA G., IOBBI V., GOVAERTS R., MINGANTI V., COPETTA A., RUFFONI B., BISIO A. (2020): *Trace elements in edible flowers from Italy: Further insights into health benefits and risks to consumers*, «Molecules», 25, p. 2891.
- FEO F., MARTINEZ J., MARTINEZ A., GALINDO P.A., CRUZ A., GARCIA R., GUERRA F., PALACIOS R. (1997): *Occupational allergy in saffron workers*, «Allergy», 52, pp. 633-641.
- FERNANDES L., CASAL S., PEREIRA J.A., SARAIVA J.A., RAMALHOSA E. (2017): *Edible flowers: A review of the nutritional, antioxidant, antimicrobial properties and effects on human health*, «J. Food Compos. Anal.», 60, pp. 38-50.
- GUINÉ R., SANTOS E. & CORREIA P. (2017): *Edible flowers: knowledge and consumption habits*, «Acta Scientific Nutrition Health», 3, pp. 18-22.
- KELLEY K.M., BEHE B.K., BIERNBAUM J.A., POFF K.L. (2002): *Combinations of colors and species of containerized edible flowers: Effect on consumer preferences*, «Hortscience», 37, pp. 218-221.
- KELLEY K.M., BEHE B.K., BIERNBAUM J.A., POFF K.L. (2001): *Consumer and professional chef perceptions of three edible species*, «Hortscience», 36, pp. 162-166.
- KELLEY K.M., CAMERON A.C., BIERNBAUM J.A., POFF K.L. (2003): *Effect of storage temperature on the quality of edible flowers*, «Postharvest Biol. Technol.», 27, pp. 341-344.
- LANDI M., RUFFONI B., COMBOURNAC L., GUIDI L. (2017): *Nutraceutical value of edible flowers upon cold storage*, «Ital. J. Food Sci.», 30, pp. 1-11.
- LOIZZO M.R., PUGLIESE A., BONESI M., TENUTA M.C., MENICHINI F., XIAO J., TUNDIS R. (2016): *Edible flowers: A rich source of phytochemicals with antioxidant and hypoglycemic properties*, «J. Agric. Food Chem.», 64, pp. 2467-2474.
- LU B., LI M., YIN R. (2016): *Phytochemical Content, Health Benefits, and Toxicology of Common Edible Flowers: A Review (2000-2015)*, «Crit. Rev. Food Sci. Nutr.», 56, S130-S148.
- LUCARINI M., COPETTA A., DURAZZO A., GABRIELLI P., LOMBARDI-BOCCIA G., LUPOTTO E., SANTINI A., RUFFONI B. (2020): *A Snapshot on Food Allergies: A Case Study on Edible Flowers*, «Sustainability», 12, 8709.
- MARCHIONI I., COLLA L., PISTELLI L., RUFFONI B., TINIVELLA F., MINUTO G. (2020a): *Different growing conditions can modulate metabolites content during post-harvest of Viola cornuta L. edible flowers*, «Advances in Horticultural Science», 34 (1S), 61-69.
- MARCHIONI I., NAJAR B., RUFFONI B., COPETTA A., PISTELLI L., PISTELLI L. (2020b): *Bioactive compounds and aroma profile of some Lamiaceae edible flowers*, «Plants», 9 (6), 691.

- MARCHIONI I., PISTELLI L., FERRI B., CIONI P., PISTELLI L., RUFFONI B. (2019): *Preliminary studies on edible saffron bio-residues during different post-harvest storages*, «Bulg. Chem. Commun», 51, pp. 131-136.
- MARCHIONI I., PISTELLI L., FERRI B., COPETTA A., RUFFONI B., PISTELLI L., NAJAR B. (2020c): *Phytonutritional content and aroma profile changes during postharvest storage of edible flowers*, «Frontiers in plant science», 11, 590968.
- MLCEK J., ROP O. (2011): *Fresh edible flowers of ornamental plants. A new source of nutraceutical foods*, «Trends Food Sci. Technol.», 22, pp. 561-569.
- NAJAR B., MARCHIONI I., RUFFONI B., COPETTA A., PISTELLI L., PISTELLI L. (2019): *Volatilomic analysis of four edible flowers from Agastache genus*, «Molecules», 24, p. 4480.
- PIRES T.C., DIAS M.I., BARROS L., FERREIRA I.C. (2017): *Nutritional and chemical characterization of edible petals and corresponding infusions: Valorization as new food ingredients*, «Food Chem.», 220, pp. 337-343.



Frutticoltura, viticoltura e orticoltura





MICHAEL OBERHUBER<sup>1</sup>, FRANZISKA MARIA HACK<sup>2</sup>, JULIA RIZZO<sup>2</sup>

## Ricerche e innovazioni per il settore viti-vinicolo del Centro di Sperimentazione Laimburg

<sup>1</sup> Direttore del Centro di Sperimentazione Laimburg

<sup>2</sup> Gruppo di lavoro Comunicazione scientifica

### IL CENTRO DI SPERIMENTAZIONE LAIMBURG

Il Centro di Sperimentazione Laimburg è l'istituto di ricerca della Provincia Autonoma di Bolzano che si occupa di migliorare la competitività e la sostenibilità del settore agroalimentare dell'agricoltura altoatesina e garantire la qualità dei prodotti agricoli. Ogni anno i 150 collaboratori del nostro centro lavorano a 350 progetti e attività in tutti campi dell'agricoltura altoatesina, dalla frutticoltura e viticoltura, fino all'agricoltura montana e alle tecnologie alimentari. Il Centro di Sperimentazione Laimburg è stato fondato nel 1975 a Vadena nella Bassa Atesina.

Le nostre prove sul campo vengono effettuate nelle aree sperimentali locali gestite dall'agenzia Demanio provinciale. Queste aree sono distribuite in diverse località in tutto l'Alto Adige. In questo modo possiamo coprire le diverse condizioni pedoclimatiche dell'intera regione.

### LE SFIDE DEL CAMBIAMENTO CLIMATICO

L'agricoltura nella regione alpina sta subendo una forte pressione a causa delle condizioni topografiche e socioeconomiche meno favorevoli e degli effetti dei cambiamenti climatici.

Il riscaldamento globale di 1-2 °C, verificatosi durante gli ultimi 50-100 anni e gli eventi climatici estremi, quali le ondate di calore, si sono aggravati tra la fine del 20° e l'inizio del 21° secolo. Questa velocità nei cambiamenti climatici, senza precedenti, ha generato importanti sfide scientifiche anche in viticoltura, portando a numerosi adattamenti nelle tecniche colturali, per

mantenere una sostenibilità ambientale ed economica della produzione di qualità.

Tra le conseguenze del cambiamento climatico vi è una minore disponibilità di acqua, che causa stress da deficit idrico nella vite. Le bacche di uva mostrano un'elevata sensibilità alle ondate di calore soprattutto durante la maturazione (fase fenologica chiave che determina la qualità dei frutti).

#### LA RICERCA DEL CENTRO LAIMBURG PER LA VITICOLTURA

Data questa situazione, tra le priorità di ricerca del Centro di Sperimentazione Laimburg vi è lo sviluppo di sistemi di gestione e produzione sostenibili capaci di adattarsi al cambiamento climatico o comunque neutrali per il clima. In diversi progetti di ricerca il Centro Laimburg approfondisce le conoscenze nell'ambito della viticoltura, dalle tecniche colturali ai sistemi di protezione delle piante. L'obiettivo è quello di fornire solide basi di conoscenza e risposte concrete agli agricoltori per potersi al meglio adattare alle sfide del futuro.

Di seguito illustreremo cinque progetti di ricerca che forniscono nuove conoscenze e risultati importanti per la viticoltura in Alto Adige.

Grazie al progetto Interreg REBECKA, è stato sviluppato un modello per la valutazione dell'idoneità dei terreni agricoli alla viticoltura, includendo l'impatto e le opportunità dei cambiamenti climatici nelle Alpi. Il progetto è stato svolto in collaborazione tra il Centro di Sperimentazione Laimburg, Eurac Research, Joanneum Research e la Camera per l'agricoltura e la selvicoltura della Carinzia.

Nel progetto FESR PinotBlanc si è valutato se la coltivazione del Pinot bianco ad altitudini più elevate possa rappresentare un'opportunità in vista di possibili ulteriori innalzamenti della temperatura globale e il livello del rischio per la coltivazione a bassa quota come conseguenza del cambiamento climatico.

Nel progetto FESR DROMYTAL, svolto in collaborazione con la Libera Università di Bolzano e con l'Università Svedese per Scienze Agricole è stato sviluppato un innovativo metodo di controllo del moscerino invasivo *Drosophila suzukii*, che permette di diminuire drasticamente l'impiego di prodotti fitosanitari.

Nel progetto "Smart Land Alto Adige" il Centro di Sperimentazione Laimburg, in collaborazione con la società di fornitura di energia Alperia S.p.A. e con il Centro di Consulenza per la fruttiviticoltura dell'Alto Adige, indaga come orientare l'irrigazione in frutti- e viticoltura in modo adeguato al fabbisogno delle colture.

Nel progetto FESR LIDO (“Laimburg Integrated Digital Orchard”) è prevista, presso il Centro di Sperimentazione Laimburg, la costruzione di un laboratorio digitale di pieno campo per la frutticoltura e viticoltura.

*REBECKA – predizione matematica dell'idoneità delle parcelle alla coltivazione della vite*

L'Alto Adige è topograficamente molto versatile e ha aree in spazi molto limitati a diverse altitudini, con esposizione, pendenza e condizioni climatiche diverse. Non tutti gli appezzamenti sono adatti alla produzione di vini d'alta qualità.

Nel progetto REBECKA i ricercatori hanno sviluppato un modello digitale per valutare l'idoneità delle aree agricole alla viticoltura in Alto Adige e in Carinzia, fornendo informazioni obiettive e scientifiche. Il modello è progettato in modo tale da poter essere progressivamente adattato e aggiornato al progressivo cambiamento climatico e ad altre zone con problematiche e caratteristiche simili.

In questo modello di valutazione statistica, sono stati combinati e integrati vari dati sul clima e dati fenologici di viticoltura, come germogliamento, fioritura e maturazione, vari parametri di resa come il peso dell'uva e vari parametri qualitativi, nonché i dati storici. Il modello fornisce informazioni sui parametri oggettivamente valutabili (temperatura, radiazione, topografia e nuvolosità) e consente quindi caratterizzazioni e confronti specifici su singole parcelle coltivate fino a una risoluzione di 25 m.

Ulteriori informazioni sul progetto:

<http://www.laimburg.it/it/progetti-pubblicazioni/rebecka.asp>

Il “Browser Zone Vitivinicole” dell'Amministrazione provinciale dell'Alto Adige si basa sul modello di valutazione sviluppato nel progetto REBECKA:

<http://www.provincia.bz.it/agricoltura-foreste/agricoltura/frutti-viticultura/vino.asp>

Il progetto REBECKA è stato finanziato dal Fondo europeo di sviluppo regionale nell'ambito del programma di cooperazione Interreg V-A Italia-Austria 2014-2020.

*PINOT BLANC – salvaguardare la tipicità del vino Pinot bianco*

Il Pinot bianco è un vino di punta dell'Alto Adige. La sua tipicità non dipende solo dal terreno e dai metodi di coltivazione, ma anche dal clima. Tuttavia, la produzione di uve di Pinot bianco risente spesso negativamente del riscaldamento globale. Tra i principali fattori che influenzano l'acidità dei mosti e del vino si annovera la temperatura dell'aria. Nelle Alpi, tra il 1920 e il 2010, la temperatura media è aumentata di 1,9 °C e tra il 1980 e il 2010 l'inizio della maturazione dell'uva è anticipata di due o tre settimane.

Nel progetto PinotBlanc è stata analizzata la possibilità di coltivare questo vitigno ad altitudini più elevate e fresche, quindi più indicate, da un punto di vista climatico, a preservare le caratteristiche tipiche del vino. I ricercatori hanno raccolto, in parcelle disposte ad altitudini diverse, dati sulla temperatura dell'aria e del suolo, sulle caratteristiche e la composizione di terreno, foglie e uva, nonché sulle dinamiche di crescita del vitigno. Nella cantina sperimentale del Centro Laimburg, sono quindi state microvinificate le uve di tre vendemmie e sono state eseguite analisi sensoriali e chimico-aromatiche sui mosti e sui vini ottenuti. Sulla base dei risultati dello studio, la coltivazione del Pinot bianco ad altitudini più elevate è in grado di mantenere le stesse buone caratteristiche dei vini delle zone di coltivazione attuali ad altitudini più basse.

Queste informazioni saranno d'aiuto a viticoltori ed enologi per prendere decisioni sulla scelta dei vitigni e dei luoghi dove avviare una nuova coltivazione di vite, nonché sul momento ottimale per la vendemmia. Inoltre, i dati raccolti nel progetto aiuteranno anche gli enologi nelle decisioni sulle cuvée di Pinot bianco provenienti da diversi siti di coltivazione in Alto Adige.

Ulteriori informazioni sul progetto:

<http://www.laimburg.it/it/progetti-pubblicazioni/pinotblanc-valorizzazione-del-pinot-bianco-nella-viticultura-alpina.asp>

Il progetto PinotBlanc è stato finanziato dal Fondo europeo di sviluppo regionale (FESR 2014-2020, "Investimenti a favore della crescita e dell'occupazione").

*DROMYTAL – maggiore sostenibilità nella lotta agli insetti invasivi*

Comunemente chiamato anche moscerino dei piccoli frutti, la *Drosophila suzukii* è un insetto invasivo proveniente dall'Asia, che dal 2011 causa ingenti danni a diverse colture in diversi Paesi europei. In Alto Adige sono particolar-

mente colpiti ciliegie, fragole, lamponi e mirtilli, nonché alcune varietà di uva locale Schiava. Nel suo impegno nell'ambito della protezione delle colture, il Centro di Sperimentazione Laimburg studia e applica diversi approcci con il fine ultimo di assicurare il raccolto, mantenere la qualità dei prodotti e allo stesso tempo operare nel rispetto dell'ambiente e della salute del consumatore. Il progetto DROMYTAL è uno degli esempi concreti di come la ricerca applicata risponda direttamente alle problematiche dell'agricoltura locale.

Un team interdisciplinare con competenze in entomologia, ecologia chimica, microbiologia, studi comportamentali, chimica degli aromi e dei metaboliti ha sviluppato un metodo innovativo per il controllo di un parassita invasivo con la cosiddetta strategia "Attract & Kill", che si basa su una formulazione specifica di insetticida mescolato a lieviti appositamente selezionati per essere attrattivi nei confronti di *Drosophila suzukii*. Quando possibile in base al sistema colturale, la combinazione lievito-insetticida viene applicata sulle foglie e non sui frutti. In questo modo non è necessario il trattamento di tutto l'impianto ed è possibile abbassare di un terzo il quantitativo di insetticida applicato e quindi, rendendo così il trattamento più sostenibile dal punto di vista ambientale ed economico. Il passo successivo è quello di rendere questa strategia disponibile per l'applicazione nella gestione ordinaria di campo.

Ulteriori informazioni sul progetto:

<http://www.laimburg.it/it/progetti-pubblicazioni/dromytal.asp>

Il progetto DROMYTAL è stato finanziato dal Fondo europeo di sviluppo regionale (FESR 2014–2020, "Investimenti a favore della crescita e dell'occupazione").

*Il progetto "Smart Land Alto Adige": irrigazione mirata tramite l'uso di sensori per l'umidità del suolo*

Nella frutticoltura altoatesina la determinazione del fabbisogno irriguo avviene spesso con criteri soggettivi. Solo in parte ci si avvale di sensori o di bilanci idrici. Inoltre, nel caso della compilazione di un bilancio idrico, le variabili legate al suolo sono difficilmente determinabili a causa della grande variabilità spaziale delle caratteristiche dei terreni e del clima. Ciò rende più complessa una stima della risorsa idrica disponibile nel suolo per le piante, criterio fondamentale per una corretta irrigazione. Nell'era della digitalizzazione, le recenti innovazioni nella tecnica di trasmissione di dati e nel settore della sensoristica offrono nuove possibilità per un monitoraggio della disponibilità

idrica nel suolo su larga scala. Tecnologie radio come LoRaWAN permettono il trasferimento senza fili di dati su server remoti. Questo consente il libero posizionamento dei sensori in campo e rende superfluo l'impiego di datalogger.

Nel progetto “Smart Land Alto Adige” collaborano l'azienda Alperia, il Centro di Consulenza per la fruttivitticoltura dell'Alto Adige e il Centro di Sperimentazione Laimburg per testare l'impiego della tecnologia LoRaWAN nella misurazione, trasmissione e visualizzazione di dati. Come campo di applicazione è stata scelta la misurazione della disponibilità idrica dei suoli.

L'obiettivo del progetto, lanciato nel 2019 e di durata di due anni, è la creazione di una piattaforma di sensori per l'umidità del suolo e di una applicazione per smartphone, che potranno servire come base per una gestione mirata dell'irrigazione. In questo modo, in futuro gli agricoltori saranno in grado di richiamare in tempo reale sui loro smartphone i dati dei sensori, in modo da reagire prontamente a eventuali carenze d'acqua.

#### *LIDO – Costruzione di un laboratorio digitale di pieno campo per la frutti- e viticoltura*

Digitalizzazione, robotica, automatizzazione e intelligenza artificiale dovrebbero facilitare una produzione più sostenibile, l'uso più attento delle risorse e l'adattamento ai cambiamenti climatici. Per fare in modo che l'agricoltura possa beneficiare di queste nuove tecnologie, al Centro di Sperimentazione Laimburg sarà istituito per la prima volta un laboratorio digitale di pieno campo per la frutti- e viticoltura, il LIDO (Laimburg Integrated Digital Orchard). In questo laboratorio di pieno campo si esploreranno nuovi metodi e tecnologie come sensori, robot (per la raccolta), modelli, trasmissione dati e controllo combinati tra loro, come sistema di sistemi. Tramite il collegamento al NOI-Techpark il LIDO potrà diventare il nucleo per l'innovazione condivisa e il trasferimento tecnologico. Nel laboratorio di pieno campo lavoreranno insieme ricercatori, consulenti, aziende e agricoltori. Il LIDO sarà installato nei prossimi due anni presso il Centro di Sperimentazione Laimburg.

Ulteriori informazioni:

<http://www.laimburg.it/it/progetti-pubblicazioni/LIDO.asp>

Il progetto LIDO viene finanziato dal Fondo Europeo di Sviluppo Regionale (FESR 2014-2020, “Investimenti a favore della crescita e dell'occupazione”).

Comuni a tutti i progetti è la stretta collaborazione con il mondo agricolo, soprattutto gli organismi di consulenza, le cooperative e le associazioni di categoria che garantiscono un trasferimento tecnologico efficace. Anche la programmazione segue una logica che parte dal fabbisogno del settore agroalimentare dell'Alto Adige<sup>1</sup>.

#### ABSTRACT

*Laimburg Research Centre: Research and Innovation for the Winegrowing Industry.* Laimburg Research Centre is the research centre for agriculture and food quality in South Tyrol. Agriculture in the Alpine region is suffering the intense pressure of its less favourable socio-economic and topographical conditions, together with the effects of climate change. The Laimburg Research Centre carries out research projects to provide in-depth knowledge about winegrowing, from growing techniques through to plant protection systems. The aim is to provide a solid knowledge base and practical answers for farmers and growers to be able to better face the challenges of the future.

<sup>1</sup> J. BERGER, *Increasing the impact of research by involving stakeholders: Laimburg Research Centre, a best practice example*, «Laimburg Journal», 2, 2020. DOI: 10.23796/LJ/2020.003.





Meccanica e meccanizzazione



ROBERTO SCALACCI<sup>1</sup>

## Riflessioni sull'uso dei droni e dei dati nell'agricoltura di precisione

<sup>1</sup> Regione Toscana

Negli ultimi anni l'agricoltura di precisione è diventata una delle prospettive più interessanti e innovative strategie per la gestione delle coltivazioni agrarie.

Un sistema complesso che integra tecnologie all'avanguardia con l'ambizioso scopo di eseguire interventi agronomici sito-specifici mirati alle effettive esigenze delle colture, in un quadro di conoscenza delle caratteristiche fisiche e agronomiche del suolo stesso. È evidente e facilmente comprensibile che questa strategia ha riflessi positivi sull'uso di input in agricoltura in un quadro di sostenibilità ambientale ed economica.

In questo contesto particolarmente interessante si rivela anche il dibattito sull'utilizzo di sistemi aeromobili a pilotaggio remoto (SAPR), comunemente detti droni, sia per la loro economicità sia per la loro operabilità, che potrebbe permettere di realizzare e mantenere sistemi colturali a basso impatto ambientale e costi contenuti e, quindi, di ottimizzare la gestione dei processi. Ma, soprattutto, i SAPR possono essere agevolmente impiegati per la distribuzione mirata di fattori di produzione, come prodotti fitosanitari, fertilizzanti e prodotti per la difesa biologica, riducendo inquinamento, dispersione e favorendo il tracciamento dell'uso dei prodotti, contribuendo così ad aumentare la sicurezza e il rispetto della normativa ambientale, in materia di acque, nitrati, degrado del suolo. Al contempo, i dati generati potrebbero costituire una prova di tale rispetto anche nella logica della nuova PAC fondata sul raggiungimento degli obiettivi quantificabili e verificabili.

Tuttavia, vi sono ancora delle questioni normative irrisolte che impediscono di utilizzare questi strumenti per l'irrorazione di prodotti fitosanitari anche se biologici<sup>1</sup>.

<sup>1</sup> La capacità di portata dei moderni droni agricoli irroratori, grazie all'avanzamento della ricerca

L'articolo 9 della Direttiva 2009/128/CE<sup>2</sup> sull'uso sostenibile dei prodotti fitosanitari, con l'articolo 13 del d.lgs. 150/2012<sup>3</sup> che ne dà attuazione in Italia e il Piano di azione nazionale per l'uso sostenibile dei prodotti fitosanitari (PAN), vietano l'irrorazione di prodotti fitosanitari con mezzi aerei, salvo deroghe. Tale ambito di deroga è esclusivamente concesso dalle Regioni e dalle Province Autonome, previo parere favorevole dei Ministeri competenti, solo in determinate situazioni e sulla base di valutazioni effettuate caso per caso. Queste deroghe sono concesse nell'ambito del contrasto a importanti fitopatie che prevedono la distribuzione di prodotti con mezzi aerei in condizioni di massima sicurezza rispetto alla deriva di queste sostanze e ai conseguenti rischi sulla salute pubblica e sull'ambiente<sup>4</sup>.

Uno degli scopi del PAN è quello di proporre un uso razionale dei prodotti fitosanitari per una maggiore tutela dell'uomo e dell'ambiente e nonostante la revisione in corso, il nuovo testo ribadisce che l'utilizzo di droni per la distribuzione di prodotti fitosanitari è vietato ai sensi dell'articolo 13 del d.lgs. n. 150/2012, impendendo di fatto, anche nel prossimo futuro, l'uso di una tecnologia così interessante. Sembra aprirsi solo un piccolo spiraglio legato alla sperimentazione dell'uso dei droni che però dovrà essere normato entro 24 mesi dall'entrata in vigore del nuovo piano in corso di completamento.

Tempi troppo lunghi per l'utilizzo di una tecnologia che sembra già matura e ampiamente praticata da anni in Paesi, fuori dall'Europa, come Giappone, Cina, Canada e Stati Uniti. Altri Paesi europei, come la Francia<sup>5</sup>, dal febbraio

---

e delle sperimentazioni in atto, si sta arricchendo sempre di più. Dai droni equipaggiati con serbatoi che vanno dai 10 ai 20 litri, si stanno diffondendo, inoltre, le sperimentazioni dei cosiddetti "megadroni", anche *customizzabili*, con capacità di portata fino a 100 litri di miscela fitoiatrice. Oltre a prodotti liquidi, grazie ad appositi kit di distribuzione, possono essere distribuiti prodotti anche in forma granulare o capsule.

<sup>2</sup> <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/IT/TXT/PDF/?uri=CELEX:02009L0128-20190726&from=EN>

<sup>3</sup> <https://www.normattiva.it/atto/caricaDettaglioAtto?atto.dataPubblicazioneGazzetta=2012-08-30&atto.codiceRedazionale=012G0171&atto.articolo.numero=0&qId=&tabID=0.6295359260600886&title=lbl.dettaglioAtto>

<sup>4</sup> A oggi non risultano in commercio prodotti utilizzabili con il mezzo aereo da indicazioni in etichetta ed è invece prevista una procedura di autorizzazione eccezionale in caso di emergenza fitosanitaria per prodotti non registrati. Le auspicate evoluzioni normative per l'uso dei droni in agricoltura dovranno quindi essere accompagnate dalla messa a punto di prodotti pensati per questo nuovo tipo di mezzo di applicazione, con la conseguente revisione delle etichette dei prodotti che andrebbero autorizzati per il loro corretto uso.

<sup>5</sup> <https://www.legifrance.gouv.fr/jorf/id/JORFTEXT000039191505/> da cui si può scaricare il testo: "Arrêté du 26 août 2019 relatif à la mise en œuvre d'une expérimentation de l'utilisation d'aéronefs télépilotes pour la pulvérisation de produits phytopharmaceutiques" [https://www.legifrance.gouv.fr/download/pdf?id=QxxNhmWQhhrsBWuIDFh4Hw3xlp85wq1NC\\_3gJDOLXQ=](https://www.legifrance.gouv.fr/download/pdf?id=QxxNhmWQhhrsBWuIDFh4Hw3xlp85wq1NC_3gJDOLXQ=)

2020 stanno già sperimentando i droni per l'uso di prodotti fitosanitari sulle viti arrivando a ridurre fino a 4 volte la quantità di prodotti utilizzati.

Timidi tentativi di sperimentazione stanno avvenendo anche in Italia<sup>6</sup> ma l'agricoltura di precisione in questo ambito è a un bivio, considerare questa tecnologia a supporto della sostenibilità ambientale o continuare a valutarla eccessivamente rischiosa.

Le questioni giuridiche riguardano da un lato l'autorizzazione all'uso di dispositivi specifici per la diffusione di prodotti fitosanitari e dall'altro le connesse problematiche legate all'autorizzazione a effettuare i relativi voli<sup>7</sup>.

Nel quadro attuale europeo, dove la Commissione con il Green Deal punta a trasformare l'UE in una società a basso impatto climatico, giusta e prospera, dotata di un'economia moderna, efficiente sotto il profilo delle risorse e competitiva, il ritardo nell'attuare innovazioni che facilitino la ricerca e la diffusione di soluzioni sostenibili, appare contraddittorio.

La Commissione europea, tuttavia, nel documento riguardante la valutazione dell'impatto iniziale della revisione della Direttiva 2009/128/CE SUD – Sustainable Use of Pesticides Directive<sup>8</sup>, apre uno spiraglio chiedendo un confronto politico sulla promozione dell'uso di nuove tecnologie per ridurre l'uso e il rischio di prodotti chimici, soprattutto per affrontare le possibili barriere attuali sull'uso di nuove tecnologie come i droni.

Un'altra questione giuridica, altrettanto delicata, è quella relativa ai dati che interessa sia l'uso dei droni sia la digitalizzazione in ambito agricolo<sup>9</sup>.

L'agricoltura di precisione per sua natura, necessita di monitoraggio e di raccolta di dati che possono essere utilizzati dal singolo agricoltore per operare delle scelte all'interno del suo contesto aziendale, ma possono anche essere utilizzati dai consulenti o riversati in piattaforme e *cloud* presenti nel web.

I dati potrebbero essere così combinati con i dati presenti sulla rete (*big data*) rilevando delle criticità sotto due importanti profili: quello della protezione dei dati personali e quello della massiccia aggregazione di dati agronomici sull'attività di numerosi agricoltori (*big data agriculture*).

Sul primo profilo si segnalano le disposizioni del Garante della privacy<sup>10</sup> sull'uso di droni muniti di fotocamera (o videocamera) per fini ricreativi, così

<sup>6</sup> <https://www.quadricottero.com/2020/11/drone-agricolo-dji-agras-t16-arriva-in.html>

<sup>7</sup> <https://terraevita.edagricole.it/nova/nova-agrofarmaci-difesa/droni-prodotti-fitosanitari/>

<sup>8</sup> [https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/STUD/2018/627113/EPRS\\_STU\(2018\)627113\\_EN.pdf](https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/STUD/2018/627113/EPRS_STU(2018)627113_EN.pdf)

<sup>9</sup> <https://agrireregionieuropa.univpm.it/it/content/article/31/53/lagricoltura-di-precisione-una-sfida-anche-il-diritto>

<sup>10</sup> <https://www.garanteprivacy.it/temi/droni>

come quelle di ENAC, che all'articolo 29 del Regolamento UAS-IT<sup>11</sup>, stabilisce il rispetto del principio di "minimizzazione dei dati" di cui al Regolamento (UE) 2016/679 (GDPR).

Il secondo profilo tocca gli aspetti legati alla protezione, allo scambio e in particolare alla proprietà dei dati, non personali, relativi all'attività agricola. A questi si applica il regolamento UE n. 1807 del 14 novembre 2018 relativo alla libera circolazione dei dati non personali all'interno dell'Unione Europea (denominato "*Free Flow Data Regulation*", c.d. "Regolamento FFD"), applicato dal 28 maggio 2019. Fra gli esempi specifici di dati non personali figurano, appunto, in un elenco non tassativo, i dati sull'agricoltura di precisione.

L'obiettivo primario del Regolamento FFD è dunque la costruzione del Digital Single Market, l'equivalente digitale del Mercato Unico Europeo, al fine di consentire la libera circolazione dei dati non personali all'interno dell'Unione europea, completando, in associazione con il Regolamento generale per la protezione dei dati personali n. 2016/679 (GDPR), la sicurezza delle reti e dei sistemi informativi e garantendo altresì che i requisiti di sicurezza relativi all'archiviazione dei dati di persone fisiche e giuridiche vengano applicati uniformemente in tutti gli Stati membri.

Indubbiamente uno dei settori che potrà trarre beneficio dal libero scambio dei dati è quello agricolo con l'adozione dei più moderni e avanzati sistemi digitali e delle nuove tecnologie.

Il trasferimento delle informazioni e dei dati agronomici permetterà un maggiore e più rapido superamento di barriere culturali e il miglioramento delle condizioni ambientali e di utilizzo (e riciclo) delle risorse.

Nel 2018 una coalizione di primarie associazioni della filiera agroalimentare dell'UE ha elaborato e lanciato il "Codice di condotta UE sulla condivisione dei dati nel settore agricolo mediante un accordo contrattuale"<sup>12</sup>, che nasce proprio dall'importanza dei dati nella transizione al digitale. I firmatari del Codice di condotta sono convinti dell'importanza di stabilire principi e linee guida trasparenti per sostenere lo sviluppo dell'agricoltura digitale. A luglio 2020 tali linee guida, per un corretto utilizzo dei dati agricoli, sono state poste all'attenzione dei vari responsabili e decisori politici dell'UE nel contesto della discussione per la Strategia europea per i dati<sup>13</sup>. La strategia mira a creare un vero spazio europeo dei dati, compreso uno Spazio comune europeo di dati

<sup>11</sup> <https://www.enac.gov.it/la-normativa/normativa-enac/regolamenti/regolamenti-ad-hoc/regolamento-uas-it>

<sup>12</sup> <https://www.unacma.it/wp-content/uploads/2020/07/Annex3-EU-CODE-OF-CONDUCT-ON-AGRICULTURAL-DATA-SHARING-IT.pdf>

<sup>13</sup> <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/IT/TXT/PDF/?uri=CELEX:52020DC0066&from=IT>

sull'agricoltura, che insieme alla Comunicazione sulla Strategia digitale<sup>14</sup> e al Libro Bianco sull'Intelligenza Artificiale<sup>15</sup>, fanno parte del “*Digital Package*” del febbraio 2020.

In tale direzione si sta muovendo anche la Regione Toscana, in primo luogo attraverso i servizi messi a disposizione da ARTEA, l'Agenzia Regionale Toscana per le Erogazioni in Agricoltura<sup>16</sup>, con l'utilizzo dei dati disponibili nel proprio sistema informativo, trasformando in servizio all'agricoltore ciò che fino a oggi era solo usato come dato per le verifiche amministrative sui finanziamenti. ARTEA dispone di un sistema informativo centrato sull'azienda agricola, per la quale registra informazioni provenienti da altre banche dati pubbliche, dati provenienti dal fascicolo aziendale gestito da soggetti convenzionati, dati provenienti dal sistema delle istruttorie e dei pagamenti. La gran parte delle informazioni riguardanti l'azienda è esposta o gestita tramite servizi messi a disposizione anche in maniera aperta a tutti i soggetti coinvolti nella filiera agricola. I servizi si distinguono, infatti, in due grandi categorie: servizi Open e servizi Puntuali. I primi, sotto pseudonimizzazione o totalmente anonimizzati, permettono di fornire dati utili a fini statistici o di gestione del territorio, i secondi, nominali per azienda agricola, forniscono dati riguardanti la singola azienda e consentono anche di acquisire dati dalla stessa. Questi ultimi servizi sono focalizzati a permettere di gestire le informazioni aziendali e sono esposti solo in maniera autenticata (sia per utente che per colloquio applicativo) e previa autorizzazione dell'azienda alla visibilità delle informazioni.

Le tecnologie attuali ci consentono, quindi, di trasformare banche dati pubbliche in strumenti di gestione avanzata delle aziende agricole, laddove anche l'agricoltore accetta una condivisione del dato, che viene gestito in modo reciproco e bilaterale. Questo consente di snellire le pratiche amministrative attraverso ulteriori dati forniti dall'agricoltore e restituire strumenti di gestione aziendali anche molto sofisticati.

A fronte di tutte le iniziative volte a far avanzare l'agricoltura di precisione e la digitalizzazione del settore agricolo, è necessario però affrontare, nelle opportune sedi istituzionali, gli elementi normativi e giuridici che ostacolano la diffusione delle innovazioni a sostegno dell'uso sostenibile delle risorse. Occorre, quindi, fornire una risposta che permetta l'uso di queste tecnologie innovative a partire da una legislazione quadro sui dati agronomici e sulla loro governance, nonché sull'uso dei droni che altrimenti resterà confinato

<sup>14</sup> [https://ec.europa.eu/info/sites/info/files/communication-shaping-europes-digital-future-feb2020\\_en\\_4.pdf](https://ec.europa.eu/info/sites/info/files/communication-shaping-europes-digital-future-feb2020_en_4.pdf)

<sup>15</sup> [https://ec.europa.eu/info/sites/info/files/commission-white-paper-artificial-intelligence-feb2020\\_it.pdf](https://ec.europa.eu/info/sites/info/files/commission-white-paper-artificial-intelligence-feb2020_it.pdf)

<sup>16</sup> <https://www.artea.toscana.it/>

solo al rilevamento topografico e alla documentazione aerea perdendo così quell'opportunità di riduzione dei fattori di inquinamento e di contributo alle ambizioni di sostenibilità della nuova politica dell'Unione.

#### ABSTRACT

*Remarks on the use of drones and data in precision agriculture.* Precision agriculture is certainly one of the most interesting innovation for the management of agricultural crops.

Drones, SAPRs, can be easily used for a targeted distribution of production inputs, such as plant protection products, fertilizers and biological protection, pollution reduction, dispersion and tracking the use of products.

The article examines the regulatory aspects that hinder the spread of this practice and the possibility of making full use of the benefits and describes:

- the provisions currently in force that prohibit the spraying of plant protection products by air, except for exceptions, with complex and highly limiting procedures (regional and ministry opinion).
- the difficulties of monitoring and collecting data that can be used by the individual farmer to make choices within business context, but can also be used by consultants or transferred to platforms and clouds on the web.
- aspects related to the protection, exchange and in particular the ownership of non-personal data relating to agricultural activity.

The article concludes that, faced to the initiatives aimed at advancing precision agriculture and the digitization of the agricultural sector, it is necessary to address, in the appropriate institutional settings, the regulatory and legal elements that hinder the diffusion of innovations in support sustainable use of resources.



## Riflessioni



ELENA PANICHI<sup>1</sup>

## L'agricoltura biologica europea, quale futuro? Sfide e opportunità\*

<sup>1</sup> Unità Produzione Biologica - Direzione Generale Agricoltura - Direzione Sviluppo Rurale - UE  
- Bruxelles

A poche settimane dalla adozione, il 25 marzo scorso, del nuovo piano d'azione per lo sviluppo della produzione biologica da parte della Commissione Europea, è utile fare il punto sulla situazione del comparto biologico europeo, che si trova a vivere un momento di particolare attenzione politica, e illustrare le prospettive future dello stesso, in un momento cruciale per l'Europa, di cambiamenti e sfide globali sanitarie, climatiche ed economiche.

Innanzitutto è utile definire l'argomento da affrontare, non solamente dal punto di vista tecnico, ma anche dal punto di vista strutturale ed economico cioè sia in termini di superfici che di consumi.

Come recita il primo considerando del regolamento 834/2007, regolamento in corso di validità fino all'1 gennaio 2021, quando subentrerà il nuovo regolamento 2018/848, «La produzione biologica è un sistema globale di gestione dell'azienda agricola e di produzione agroalimentare basato sull'interazione tra le migliori pratiche ambientali, un alto livello di biodiversità, la salvaguardia delle risorse naturali, l'applicazione di criteri rigorosi in materia di benessere degli animali e una produzione confacente alle preferenze di taluni consumatori per prodotti ottenuti con sostanze e procedimenti naturali. Il metodo di produzione biologico esplica pertanto una duplice funzione sociale, provvedendo da un lato a un mercato specifico che risponde alla domanda di prodotti biologici dei consumatori e, dall'altro, fornendo beni pubblici che contribuiscono alla tutela dell'ambiente, al benessere degli animali e allo sviluppo rurale».

\* Articolo stimolato dalla Sezione Internazionale di Bruxelles. Accademia dei Georgofili

In questo caso il legislatore ha voluto sottolineare come il settore biologico sia un metodo di produzione e di trasformazione caratterizzato da due aspetti preponderanti. In primo luogo, emerge come, in regime biologico, la produzione di beni agroalimentari sia orientata a specifici obiettivi puntualmente definiti nel regolamento, sottolineando che tali principi sono ispirati al rispetto dei cicli naturali. In secondo luogo, viene richiamata la duplice funzione sociale, cioè che i beni prodotti in regime biologico intercettano le scelte di determinati consumatori sensibili al rispetto delle istanze di tutela dell'ambiente e del benessere degli animali. Tali consumatori sono in forte aumento in termini numerici, esprimendo una matura consapevolezza orientata a livelli e standard sempre più esigenti sia verso i produttori e il mercato, che verso le strutture di governance che hanno la responsabilità in termini di garanzia e controllo.

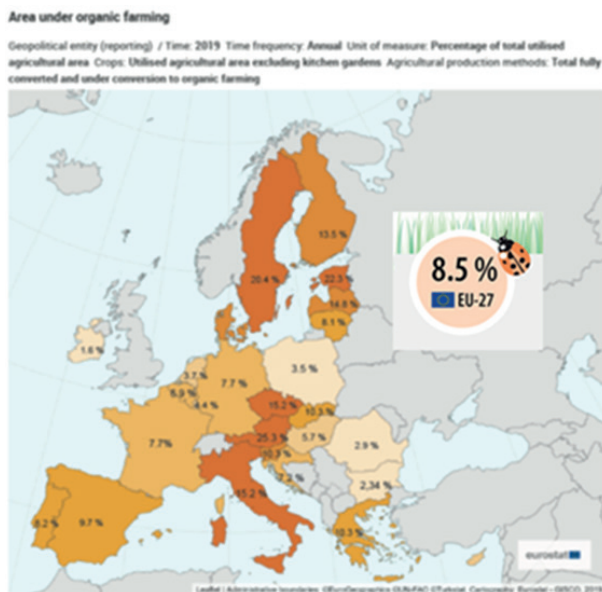
#### UNA FOTOGRAFIA DEL BIOLOGICO EUROPEO

Osservando i trend di crescita, si possono osservare due fenomeni degni di nota. Da un lato, negli ultimi 10 anni le superfici coltivate a biologico sono aumentate a livello europeo del 62%. Attualmente oltre 13 milioni di ettari sono occupati dalle colture biologiche, rappresentando ormai l'8,5% della superficie agricola utilizzata (SAU). Questo dato risulta rilevante ma non sorprendente, vista la crescente popolarità dei prodotti biologici. Tuttavia, questo incessante aumento di superfici convertite a biologico sta registrando, contro ogni aspettativa, un certo rallentamento negli ultimi anni. Possiamo dire che se la curva di crescita ha un coefficiente positivo, la sua derivata sta diminuendo, testimoniando una decelerazione del, seppur positivo, tasso di crescita.

Al contrario di quanto sta avvenendo per le superfici a biologico, i consumi non stanno mostrando flessioni o rallentamenti del tasso di crescita.

Il biologico vale oggi oltre 37 miliardi di euro (ultima rilevazione del 2019), di cui il solo mercato tedesco ne rappresenta quasi un terzo. Il biologico è un mercato in piena espansione che ha oramai abbandonato la condizione strutturale di mercato di nicchia, proiettandosi pienamente verso dimensioni strutturali proprie di un vero mercato globale.

Tuttavia, questo quadro positivo del settore biologico è più rappresentativo di ciò che accade in Europa centro-occidentale. Infatti, le differenze tra i 27 Paesi sono evidenti e profonde sia dal punto di vista delle dinamiche geografiche in termini di superfici che di quelle economiche riferite ai consumi. Riguardo alle prime si va dalla situazione austriaca, dove le superfici dedicate al biologico sono oltre il 25% della SAU, allo 0,5% di Malta, dove, il biolo-



gico è ancora limitato a pochi sporadici ettari. In particolare, per quello che riguarda l'Europa orientale, in riferimento a quanto pocanzi affermato, Paesi con elevata SAU disponibile, come la Romania, la Polonia e la Bulgaria hanno una percentuale di terre coltivate in regime biologico ancora molto basso, rispettivamente 2.9%, 3.5% and 2.3%; in Polonia le superfici a biologico stanno addirittura diminuendo (fig. 1).

Anche i consumi presentano differenze notevoli e rispecchiano, a grandi linee, lo sviluppo dell'agricoltura biologica in termini di superfici, nei vari Paesi. Ad esempio, a fronte di una media europea di 84 euro pro capite/anno in prodotti biologici, in Danimarca se ne spendono 344 euro e addirittura il 13% del paniere alimentare di un consumatore danese è certificato bio. D'altro canto in Paesi come la Bulgaria o la Slovacchia la spesa pro capite rimane limitata a pochi euro per anno.

L'Italia, dal canto suo, rispetto alla media europea dell'8,5% può vantare un 15% di estensioni con trend di crescita positivi. Bisogna ricordare che l'Italia con quasi 2 milioni di ettari dedicati al biologico è il terzo Paese in termini assoluti di superfici. Inoltre con un mercato che vale oltre 3 miliardi e mezzo di euro, rappresenta, da sola, il 10% del totale dell'intero valore del mercato biologico a livello europeo, con una spesa pro capite annua pari a circa 60 euro. Quindi ottimo punto di partenza per il raggiungimento di obiettivi nazionali ed europei.

## VERSO UN TARGET EUROPEO

In tale quadro si inserisce il target del 25% di superficie coltivata a biologico entro i prossimi 10 anni, come indicato nella strategia Farm to fork per contribuire alla creazione di un sistema agroalimentare sostenibile e nella strategia della biodiversità, dedicata a garantire la preservazione della qualità e della funzionalità dell'ecosistema.

Vediamo come si è arrivati a tale target. Innanzitutto è utile ricordare che con la Commissione Von der Leyen, la sostenibilità, e in particolare la sostenibilità agricola, ha acquisito un'importanza strategica nelle politiche europee e nel dibattito istituzionale diventando il cardine di diverse azioni e strategie messe in campo dalla Commissione per il prossimo decennio.

In particolare, il Green Deal e due delle sue azioni chiave appena citate, la Farm to fork e la strategia Biodiversità, hanno portato l'agricoltura biologica alla ribalta politica, fornendo notevole visibilità a un settore che fino ad oggi aveva seguito trend di crescita "naturali" e che si trova ora, a dover raggiungere, in una decade, un target piuttosto ambizioso: "un quarto della superficie agricola europea dedicata al biologico"; ma soprattutto un target che implica un sostanziale cambio nel settore riequilibrando le evidenti discrepanze che caratterizzano le varie regioni d' Europa.

Come ben noto, lo scopo principale del Green Deal, è arrivare a modelli di crescita economica che permettano un'Europa neutra dal punto di vista delle emissioni di gas a effetto serra nei prossimi 30 anni.

Le azioni del Green Deal avranno effetti non solo sull'industria, ma su tutti i settori produttivi europei, incluso quello agricolo, spesso additato come uno delle principali cause delle emissioni di CO<sub>2</sub>, anche se il suo contributo viene stimato intorno al 10%.

Il Green Deal europeo prevede un piano d'azione per: promuovere l'uso efficiente delle risorse passando a un'economia pulita e circolare, ripristinare la biodiversità e ridurre l'inquinamento.

Il documento programmatico individua negli agricoltori europei gli attori fondamentali della transizione verde e ne enfatizza lo sforzo volto ad affrontare i cambiamenti climatici, proteggere l'ambiente e preservare la biodiversità. Tale impegno dovrà essere adeguatamente sostenuto, affinché essi possano efficacemente affrontare e permettere l'avvio di questa trasformazione che possiamo definire epocale.

Rispondendo alle caratteristiche sopra enunciate, l'agricoltura biologica rappresenta uno degli strumenti chiave per guidare questa transizione verso un'agricoltura più sostenibile. È per tale motivo che il Green Deal esprime fortemente la necessità di agire per aumentare le superfici coltivate a biologico.

Tali concetti sono ulteriormente esplicitati e dettagliati nelle due strategie Farm to fork e Biodiversity, che definiscono il target in termini numerici, da cui l'attesa del 25% di copertura a biologico, rispetto alla SAU europea.

Per entrare nel dettaglio della Farm to fork, si può affermare che essa rappresenta una strategia “dal produttore al consumatore, per un sistema alimentare equo, sano e rispettoso dell'ambiente”, che costituisce un nuovo approccio globale al valore che gli europei attribuiscono alla sostenibilità alimentare. Si tratta di un'opportunità per migliorare la qualità ambientale, gli stili di vita e la salute dei cittadini dell'Unione. La novità della strategia è nell'approccio alla sostenibilità, considerata certamente dal punto di vista ambientale, ma in senso più ampio, anche da quello economico e sociale.

Anche nel caso della Farm to fork, l'agricoltura biologica, dal canto suo, contribuisce pienamente agli obiettivi della strategia tramite la riduzione dell'impronta ecologica ed ambientale del settore produttivo agricolo. Sono chiari i benefici che apporta l'agricoltura biologica: preservazione della biodiversità (30% superiore rispetto all'agricoltura convenzionale); un modello alternativo di transizione verso un'agricoltura più sostenibile; nuove opportunità per gli agricoltori, soprattutto per sostenerne un reddito dignitoso; contribuisce infine alla resilienza del settore agro alimentare (quello che si è meglio riorganizzato durante i mesi della pandemia e che ha registrato trend di crescita positivi rispetto ad altri settori).

Gli obiettivi strategici appena descritti sono sicuramente ambiziosi ma raggiungibili. In assenza di stimoli, è stata stimata una espansione del settore biologico di circa 7-10 punti percentuali rispetto alla situazione attuale, arrivando nel 2030 a circa il 15-18 % della SAU. D'altro canto, come già anticipato, data la rilevanza politica assunta oramai dal settore, sono in fase di attivazione tutta una serie di meccanismi di stimolo che sicuramente daranno allo stesso un impulso che permetterà di centrare l'obiettivo del 25%.

#### QUALI GLI STRUMENTI A DISPOSIZIONE: DALLA PAC AL PIANO D'AZIONE

Sicuramente il più tradizionale degli strumenti di sostegno dedicati al mondo agricolo è la Politica agricola comune (PAC), tutt'ora in fase negoziale per la pianificazione 2023-2027.

È utile ricordare che la nuova PAC riequilibra le responsabilità tra Commissione Europea e Stati membri per ciò che riguarda la programmazione e pianificazione degli interventi sul territorio nazionale. Il sistema sarà basato su risultati di performance piuttosto che di conformità, semplificando e riducendo il grado di burocratizzazione della gestione dei finanziamenti.

Tutto ciò avverrà nell'ambito di un quadro normativo europeo ben definito, ma dove, al contrario della programmazione attuale, gli Stati membri avranno la possibilità di definire i propri piani strategici nazionali, identificando i bisogni specifici dei loro territori.

Quindi, attraverso i piani strategici nazionali, stilati sulla base di raccomandazioni che la Commissione ha presentato agli Stati membri<sup>1</sup>, i Paesi dovranno presentare la loro strategia per lo sviluppo e il sostegno del settore agricolo, sempre tenendo conto dei 9 obiettivi della PAC ai quali l'agricoltura biologica risponde ampiamente: ad esempio 1) assicurare un reddito agli agricoltori, 2) incrementare la competitività del settore agricolo, 3) preservare i paesaggi rurali e la biodiversità, 4) proteggere l'ambiente, 5) contribuire ad azioni per mitigare i cambiamenti climatici e 6) creare delle aree rurali dinamiche.

La nuova PAC, inoltre, è caratterizzata da una nuova architettura verde dove i pagamenti verranno erogati in base a una modularità di interventi con un forte orientamento ambientale.

Quindi, l'agricoltura biologica beneficerà non solo della condizionalità rafforzata, che vincolerà i pagamenti a un livello minimo di pratiche agricole legate al rispetto dell'ambiente e del clima, ma anche degli eco-schemi, che saranno volontari e, quindi, basati sulla libera scelta degli agricoltori di poter aderire a buone pratiche ambientali.

Gli eco-schemi sono strumenti disegnati per poter efficacemente migliorare la performance ambientale delle aziende agricole europee e stimolare quindi l'adesione a pratiche altamente sostenibili, tra cui anche l'agricoltura biologica. Rispetto alla programmazione attuale, che prevede un canale preferenziale per l'erogazione della quota parte relativa al *greening* per gli agricoltori biologici, la nuova PAC rappresenta un sostanziale passo in avanti verso regimi più eco-compatibili e rispettosi dell'ambiente.

Inoltre dal secondo pilastro, gli agricoltori bio potranno beneficiare anche delle misure ambientali relative allo sviluppo rurale. Il fondo verrà ulteriormente ampliato con risorse stanziare dal *Next generation EU*.

Da questo quadro programmatico, l'agricoltura biologica emerge con un ruolo di primo piano e, anche se non è stata ancora decisa l'allocazione finale del primo pilastro, che verrà definita dal Parlamento Europeo e dal Consiglio, è certo che ci saranno ingenti risorse a disposizione dell'agricoltura biologica.

Un altro importante elemento è il Piano d'Azione per lo sviluppo della produzione biologica<sup>2</sup>, già annunciato nella Farm to fork come lo strumento per arrivare all'obiettivo del 25%, adottato dalla Commissione, il 25 marzo scorso.

<sup>1</sup> COM/2020/846 final

<sup>2</sup> COM(2021) 461



Il 25% è un obiettivo, che, se non ben gestito, rischia di avere un effetto contrario. Domanda e offerta, produzione e consumo devono crescere infatti, di pari passo, per mantenere il settore in un equilibrio stabile, senza pregiudicare la tenuta del *premium-price* che l'agricoltore biologico si aspetta e per il quale ha sostenuto degli investimenti.

L'agricoltore che sceglie di aderire allo schema biologico persegue ragioni probabilmente ideologiche ma sicuramente economiche, orientandosi verso segmenti di mercato più remunerativi. È quindi, necessario adoperarsi affinché tali scelte non cadano ostaggio di spirali deflattive, che comporterebbero l'uscita dal settore di una importante quota di imprenditori con conseguente decremento delle superfici vanificando il raggiungimento del target previsto.

Per tale motivo il piano d'azione è strutturato su 3 assi, ed è focalizzato su attività di sostegno al consumo dei prodotti biologici. Come già visto la spesa pro-capite per cittadino europeo è caratterizzata da una forchetta molto ampia presentando quindi un discreto margine di crescita dei consumi.

Tra le azioni del primo asse volte a stimolare il consumo di prodotti biologici, vi è in particolare l'incentivazione dell'uso di prodotti biologici nella ristorazione pubblica (mense scolastiche, ospedali, carceri, uffici pubblici). Introdurre percentuali più o meno elevate di prodotti biologici nelle mense pubbliche, può avere non solo un effetto immediato sull'incremento dei consumi, ma creare un effetto volano con ricadute a lungo termine. Una seconda misura di stimolo ritenuta importante è l'incentivazione degli appalti verdi. Infine è importante sottolineare che la promozione di prodotti biologici verrà ampiamente finanziata.

Il secondo asse del piano di azione prevede l'uso di strumenti più tradizionali come la PAC. La Commissione Europea raccomanda agli Stati membri di inserire, nei propri Piani Strategici Nazionali, finanziamenti dedicati a stimolare lo sviluppo del settore biologico sia dal punto di vista della produzione che della trasformazione e di incentivazione delle filiere corte.

In tal caso le raccomandazioni che sono state indirizzate all'Italia incoraggiano il Paese a seguire il cammino intrapreso, dati i risultati largamente al di sopra della media europea.

Tale asse prevede inoltre anche una serie di misure che studino la possibilità di creare organizzazioni di produttori per il settore biologico e di approfondire la conoscenza dei mercati attraverso un osservatorio prezzi dedicato al settore. Viene inoltre incoraggiata la creazione di bio-distretti, che in Italia si son rivelati preziosi strumenti di rivitalizzazione territoriale.

Concludendo sul piano d'azione, il terzo asse invece è dedicato a metter in valore l'agricoltura biologica come un esempio per il resto del settore agri-

colo e modello per guidare la transizione verso un'un'agricoltura sostenibile. In particolare, dotando gli agricoltori biologici europei di strumenti che li rendano competitivi sul mercato, puntando sulla ricerca varietale per l'incremento delle rese e sul miglioramento dell'efficacia dei sistemi di controllo dei patogeni. A tal fine le dotazioni finanziarie che verranno messe a disposizione per la ricerca su temi specifici o rilevanti per il settore biologico, attraverso *Horizon Europe*, saranno circa il 30% del totale della dotazione finanziaria per la ricerca e innovazione nell'ambito del tema "agricoltura, sviluppo rurale e silvicoltura" (l'area 3 del cluster 6 di Horizon Europe).

Inoltre, per garantire una crescita equilibrata del settore è necessario garantire stabilità legale. Il nuovo regolamento biologico entrerà in applicazione nel 2022, creando un quadro normativo uniforme e armonizzando le regole a livello europeo e, attraverso la conformità, nei riguardi dei Paesi terzi; chiarisce le relazioni tra il regolamento controlli ufficiali e il regolamento biologico in materia controlli appunto; stimola l'adesione allo schema biologico attraverso l'introduzione della certificazione di gruppo per i piccoli operatori, misura fondamentale per stimolare l'adesione e il mantenimento delle piccole aziende nello schema biologico, contribuendo nel contempo all'incremento delle superfici per il raggiungimento del 25%. Apporta, quindi, sostanziali miglioramenti al comparto europeo, mantenendo fermi i capisaldi dell'agricoltura biologica, rappresentata dal logo, che non è un logo di marketing, ma appunto un simbolo che riflette valori e principi.

#### BIOLOGICO SÌ BIOLOGICO NO?

Indubbiamente, per quanto visto fino ad ora, si tratta di un importante cambio di rotta dovuto alla nuova veste politica del quale è stato investito il settore biologico, con importanti implicazioni sugli equilibri tra settore biologico e agricoltura convenzionale.

Nel corso del tempo, il biologico si era conquistato, in maniera equilibrata, segmenti di mercato crescenti, passando da settore di nicchia a uno dei segmenti più dinamici del comparto agro-alimentare, caratterizzato attualmente da crescite percentuali a due cifre.

Tale crescita era avvenuta finora in maniera progressiva, con una sequenza di piccoli aggiustamenti negli equilibri di mercato, che non creavano particolari situazioni di conflitto rispetto agli equilibri esistenti, tra comparti agricoli differenti.

I primi segni di squilibrio della finora pacifica coesistenza tra biologico e convenzionale si sono già registrati con la levata di scudi ad esempio contro

l'allocazione di una consistente fetta della promozione europea (49 milioni di euro), dedicata ai prodotti biologici.

Biologico sì o biologico no, non è sicuramente la questione da porsi. Non si può continuare una lotta ideologica che divide i sostenitori e i detrattori del biologico divisi in fazioni: guelfi e ghibellini e valutare le dinamiche del mondo agricolo in bianco e nero. L'agricoltura biologica ha indiscussi benefici per ciò che riguarda la preservazione della biodiversità, l'effetto sul suolo e la sua struttura oltre che sicuramente il ripristino della sua fertilità, la lotta contro la desertificazione, la qualità delle acque e il cambiamento climatico.

Di fondamentale importanza sono il percorso intrapreso e la consapevolezza acquisita sulla necessità di un cambio di rotta, che la politica europea aveva sicuramente avviato negli ultimi anni ma che, evidentemente, non è stato sufficiente per fare fronte ai cambiamenti climatici epocali che rischiamo di dover affrontare.

È la via giusta? lo spazio di un articolo non è sufficiente per rispondere a questa domanda. L'importante è che venga colta l'importanza della sfida e che vengano mantenuti gli impegni assunti da tutti gli attori interessati, a partire dagli Stati membri, i quali sono chiamati ad attuare specifici piani di azione nazionali. Ma allo stesso tempo tutto il sistema produttivo agroalimentare deve andare incontro a una riflessione sul futuro anche in termini di distribuzione e di organizzazione delle filiere di approvvigionamento per ridurre gli sprechi.

Concludo sottolineando che l'UE ha un ruolo di leader e di importante responsabilità nella transizione verso un sistema agroalimentare sostenibile. In questo scenario il settore biologico dovrà dimostrare di essere capace di posizionarsi sempre un passo avanti per guidare questo processo verso una Europa più sostenibile, difendendo l'ambiente e preservando i redditi degli agricoltori che sono il pilastro e il motore delle aree rurali europee vitali e produttive.

#### ABSTRACT

*European organic farming, what future? Challenges and opportunities.* With the Commission von der Leyen, organics agriculture has been put under a new political spotlight. The Green Deal and its strategies "Farm to fork" and "Biodiversity" praise for increased land managed under the organic scheme and set a target of 25% of the European utilised agricultural areas cultivated as organics by 2030.

It is undoubtedly an ambitious target, seen in the current situation: organics occupies 8.5% of the total UAA., with pretty broad difference in the EU, from 25% to 0.5%.

Also, consumption is widely differentiated in the EU, from 344 EUR per capita per year to at 2 EUR per capita per year with an EU average of EUR 84

To support the sector to reach the target of 25%, the European Commission has recently adopted a comprehensive action plan to develop organic production in the EU. The action plan is an instrument that streamlines activities and resources to the benefit of the sector. It is organised into three axes to i) stimulate consumption through the promotion of organic public catering, the use for green public procurement, allocate money for the promotion of the sector for instance, ii) increase conversion by making the best use out of the CAP money to promote conversion, to stimulate short supply and processing chains, and to create biodistrict among other actions, in and iii) increase sustainability of the sector by dedicating research money to research in the organic sector and to promote an efficient use of resources.

PIERO CRAVEDI, ALBERTO ALMA, MAURIZIO CONTI, GIUSEPPE FIRRAO,  
ANDREA LUCCHI, GAETANO MAGNANO DI SAN LIO, PIO FEDERICO ROVERSI,  
LUISA RUBINO, STEFANIA TEGLI, GIOVANNI VANNACCI

## PNRR: agricoltura e difesa antiparassitaria. Considerazioni del Comitato dei Georgofili sui problemi della difesa delle piante

Nel mondo della comunicazione, le parole chiave hanno un ruolo determinante nel rappresentare concetti e trasmettere messaggi.

Ci eravamo abituati a discutere di “sostenibilità”, ma ora “resilienza” sembra descrivere meglio la situazione in essere. I due termini hanno però importanti differenze di significato ed è utile ricordare al riguardo che in metallurgia la “resilienza” è una proprietà fisica dei materiali, misurabile con precisione, che indica il limite oltre il quale una forza applicata cessa di produrre deformazioni e determina rotture. Di recente il termine ha trovato applicazione nel campo biologico per sottolineare la capacità di un ecosistema di reagire a perturbazioni tornando all’equilibrio iniziale.

Il termine “resilienza” usato nel PNRR esprime in modo chiaro l’intenzione di concentrare sforzi ed energie per un uso consapevole delle risorse che non abusi di quello che i territori possono sostenere, fornendo cibo sano per una società sana senza compromettere le possibilità di sviluppo delle generazioni future.

Il termine resilienza è certamente accattivante, anche se non immediatamente comprensibile, ed è generalmente considerato sinonimo di “sostenibilità”, senza però averne la valenza sociopolitica. Infatti se per agricoltura “resiliente” si intende un’agricoltura in grado di affrontare i problemi ambientali, derivanti dagli attuali modelli produttivi, per ripartire ogni volta senza modifiche sostanziali di strategie e comportamenti organizzativi, allora sorgono molteplici perplessità e spunti di riflessione.

L’agricoltura intensiva ha permesso un aumento delle rese delle superfici agricole rendendo disponibili grandi quantità di alimenti per un’ampia porzione della popolazione del pianeta, anche se squilibri drammatici permangono e fenomeni di malnutrizione caratterizzano ancora vaste aree.

I modelli utilizzati hanno però evidenziato nel medio e lungo periodo i limiti di un progresso fondato sulla convinzione di una inesauribile disponibilità di risorse.

In questo quadro generale l'Agricoltura costituisce uno dei pilastri di una nuova e diversa architettura produttiva che nasca dalla consapevolezza che il nostro pianeta con i suoi attuali quasi 8 miliardi di persone non può sognare un impossibile ritorno al passato ma, al contrario, tutelando in modo maggiore biodiversità e salute deve indirizzare gli sforzi delle istituzioni, del mondo della ricerca e di quello produttivo verso nuovi modelli organizzativi e gestionali e soluzioni tecnologiche e biotecniche finalizzate ad aumentare la resilienza delle colture e più in generale dei contesti territoriali.

La protezione delle piante agrarie e degli ecosistemi forestali si colloca proprio al centro di un crocevia che ha sulle sue spalle il non facile compito di produrre cibo, legname, servizi ecosistemici e contestualmente fermare il consumo di suolo, ridurre se non azzerare l'impatto ambientale degli interventi e operare per fermare l'erosione della biodiversità, considerata la risorsa più importante per il pianeta.

#### I PROBLEMI DELLA DIFESA ANTIPARASSITARIA

L'Agricoltura si è adattata nel tempo a progresso ed esigenze di consumatori e operatori del settore. In particolare, negli ultimi decenni la ricerca nel campo della difesa fitosanitaria ha fornito risultati importanti per tutte le forme di agricoltura "sostenibile", la cui applicazione si è progressivamente affermata. In Italia la "Produzione integrata" è attualmente obbligatoria e l'agricoltura biologica sta interessando superfici sempre maggiori. Sarebbe quindi auspicabile che gli obiettivi del PNRR venissero correttamente presentati come una giusta sollecitazione a proseguire su un processo virtuoso già avviato da tempo. Questa considerazione non deve, però, indurre a pensare che non ci siano problemi da risolvere, temi da approfondire, aspetti di comunicazione da migliorare. Molti argomenti coinvolgono l'agricoltura nel suo complesso, ma alcuni sono propri della difesa antiparassitaria, come ad esempio la riduzione del 50% dell'uso dei prodotti fitosanitari e l'importante incremento della superficie ad agricoltura biologica indicati come obiettivi prioritari del nuovo piano.

## I PRODOTTI FITOSANITARI: LE ESIGENZE PRODUTTIVE E LA TUTELA DELL'AMBIENTE

Gli ultimi 50 anni hanno visto una drastica riduzione dei prodotti di sintesi, dotati di elevata efficacia diretta contro fitofagi e fitoparassiti e una maggiore attenzione alla prevenzione, con il crescente ricorso a mezzi di difesa biotecnologici, modificatori del comportamento e prodotti con funzioni complesse. In questo quadro cresce la consapevolezza di un aumento esponenziale delle necessità di trasferimento di innovazioni e di formazione degli agricoltori, sempre più non solo operatori economici ma anche custodi, la cui preparazione professionale e l'aggiornamento tecnico devono diventare una priorità.

Il mutato scenario di quanto disponibile per gli interventi ha d'altronde determinato la progressiva obsolescenza di parte degli strumenti predittivi disponibili evidenziando nel contempo l'indifferibile necessità di una forte ripresa degli studi e delle ricerche in campo, poiché nessun sistema, neanche il più avanzato, può essere di reale aiuto se non sono disponibili i dati per il suo funzionamento. Per quanto riguarda questo aspetto non va dimenticato che i concetti di sostenibilità e resilienza sono definiti a livello normativo. In particolare, L'UE stabilisce una serie di norme e regolamenti che disciplinano la produzione, la distribuzione e la commercializzazione dei prodotti biologici. È auspicabile che la formulazione di tali norme di riferimento e il loro continuo e necessario aggiornamento siano sottoposti a documentati pareri scientifici.

Da non trascurare poi le emergenze fitosanitarie, derivanti dalla introduzione accidentale, acclimatazione e insediamento di organismi/microrganismi esotici e la conseguente necessità di disporre di idonei strumenti di controllo. Al riguardo il nuovo D.Lgs. n. 19 del 2 febbraio 2021 ha stabilito una modifica epocale nei processi e nella tempistica con cui affrontare problemi derivanti da "pests" esotici, con l'istituzione del Segretariato per le Emergenze Fitosanitarie e l'accento posto sulla tempestiva predisposizione dei relativi piani di azione contenenti indicazioni precise su responsabilità e reperimento delle risorse.

Casi gravi che si sono verificati recentemente, provocati da organismi esotici, testimoniano l'importanza di questo argomento. La pandemia che stiamo subendo evidenzia il rischio, per la produzione di alimenti, di una analoga diffusione epidemica di organismi dannosi alle piante coltivate: si sono già verificati, ad esempio, Flavescenza dorata della vite e *Xylella fastidiosa*.

Il quadro che si è andato affermando nel tempo testimonia l'impegno nella riduzione dell'uso di prodotti fitosanitari, ma evidenzia una contraddizione difficile da superare. I principi attivi chimici di sintesi costituivano un com-

plesso piuttosto omogeneo che rendeva possibili analisi comparative, mentre l'attuale molteplicità di mezzi con dosi di impiego molto diverse rende difficili le valutazioni. Come considerazione generale si può segnalare la preoccupazione per quei principi attivi la cui attività biologica è talmente elevata da richiedere l'impiego di dosi per ettaro molto basse. Questi prodotti contribuiscono, è vero, alla riduzione del 50% dell'impiego di prodotti fitosanitari, ma non garantiscono, automaticamente, un pari aumento della sostenibilità. Altri prodotti, quali i mezzi biotecnologici, hanno dosi di impiego non confrontabili con quelle dei principi attivi chimici. Inoltre, i trattamenti devono essere spesso ripetuti per assicurare la buona protezione della coltura.

Ci si augura che l'obiettivo del PNRR di riduzione dell'uso di prodotti fitosanitari sia meglio esplicitato.

## L'AGRICOLTURA BIOLOGICA

L'aumento della superficie ad agricoltura biologica è un secondo grande obiettivo del PNRR. L'estensione delle coltivazioni biologiche è in atto già da diversi anni con implicazioni importanti per il loro valore ambientale ed economico. La richiesta del mercato nazionale e internazionale sta orientando i produttori ad aderire a tale forma di agricoltura alimentando una filiera che interessa molteplici settori. I prodotti biologici italiani sono generalmente molto apprezzati. Il prodotto biologico più esportato è il vino, seguito da pasta, frutta e verdure fresche. L'Italia è anche il primo Paese europeo per la produzione biologica di agrumi.

Il settore vitivinicolo, nel quale grande importanza hanno, oltre ai produttori, altri anelli delle filiere biologiche, quali gli Enti di certificazione essenziali per la tutela dei prodotti, la grande distribuzione e l'industria alimentare, merita una particolare attenzione e prospettive importanti derivano dalla crescente disponibilità di vitigni resistenti ad agenti patogeni e di prodotti di difesa innovativi. Esiste al riguardo un'elevata attesa anche per i risultati delle ricerche di frontiera in atto, indirizzate ai più avanzati settori della ricerca biologica.

Lo sviluppo delle produzioni biologiche è un fenomeno destinato ad aumentare in un contesto differenziato per tipologia di colture e grandemente influenzato dalla richiesta dei mercati, particolarmente da quelli internazionali fra cui primeggiano USA e Cina.

Nell'ambito della difesa, emerge peraltro una difficoltà di non secondaria importanza riguardante le autorizzazioni all'uso di nuovi prodotti, tenuto conto che a fronte di volumi commerciali più contenuti la normativa vigente



prevede che la documentazione per ottenere l'autorizzazione degli agrobiofarmaci sia simile a quella per le sostanze chimiche di sintesi. Viste le diverse caratteristiche delle sostanze attive, molti aspetti della procedura di registrazione risultano di difficile applicazione. Si rileva a seguito di ciò una forte difficoltà a immettere in commercio proprio i mezzi più idonei a proteggere le colture nel rispetto dell'ambiente.

Nell'ambito delle strategie afferenti l'agricoltura biologica e altri approcci diversamente definiti si evidenzia poi la necessità di un maggiore impegno non solo nella ricerca di nuovi appellativi, più o meno attrattivi e accattivanti, ma soprattutto di approfonditi studi condotti con il necessario rigore scientifico e il coinvolgimento di tutte le componenti interessate.

#### CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

Il raggiungimento delle finalità del PNRR appare possibile solo grazie ad approcci interdisciplinari e lungimiranti. Risulta fondamentale valutare e agire nella complessità dell'impatto sul sistema agricoltura considerando fattori quali clima, modalità produttive, disponibilità di materie prime, aspetti sociali, economici e di mercato, cambiamenti geopolitici, oltre a modelli di consumo e di domanda alimentare.

Gli obiettivi del piano appaiono complessivamente impegnativi ma raggiungibili, con la consapevolezza che forse saranno necessari tempi più lunghi di quelli indicati per l'applicazione uniforme e su larga scala nella diversificata e complessa realtà agricola italiana.

ALDO FERRERO, FLAVIO BAROZZI, LUIGI MARIANI

## Se il meglio è nemico del bene: impatto economico, ambientale e sulla sicurezza alimentare delle politiche Ue del Farm to Fork e della biodiversità\*

### I. CONSIDERAZIONI INTRODUTTIVE

Il Green Deal (Patto verde europeo) è il piano strategico della Commissione Europea che mira a raggiungere entro il 2050 la neutralità climatica in Europa. Nell'ambito di tale piano avranno verosimilmente un significativo impatto sul settore agricolo la strategia Farm to Fork (F2F) (EC 2020a) e quella per la Biodiversità (Biodiversity Strategy BDS) (EC 2020b), cui si accompagnerà la nuova Politica Agricola Comune (PAC post-2020 -EC 2018a, b e c).

Le iniziative strategiche F2F, BDS e PAC post-2020 devono essere peraltro collocate in un contesto complesso che si caratterizza per una riduzione delle spese per il sostegno all'agricoltura ormai in atto da tre decenni (fig. 1), accompagnato da sempre maggiori vincoli all'attività produttiva e da una crescente apertura agli import da Paesi terzi.

### 2. LE ANALISI DI SCENARIO CONSIDERATE

Sul tema oggetto di questo contributo dobbiamo segnalare l'articolo di Fuchs et al. (2020) uscito su «Nature» con l'emblematico titolo *Europe's Green Deal*

\* Crescono Le riflessioni allarmate sulla sostenibilità delle strategie del Green Deal dell'Unione Europea in ambito agricolo. In questo articolo vengono commentati i risultati delle analisi tecnico-economiche condotte dal Centro Comune di Ricerca dell'Unione Europea (JRC) e dal Dipartimento dell'Agricoltura Statunitense (USDA) Questo documento si riallaccia alle note pubblicate su «Agrarian Sciences» e sui siti della FIDAF e della Società agraria di Lombardia.

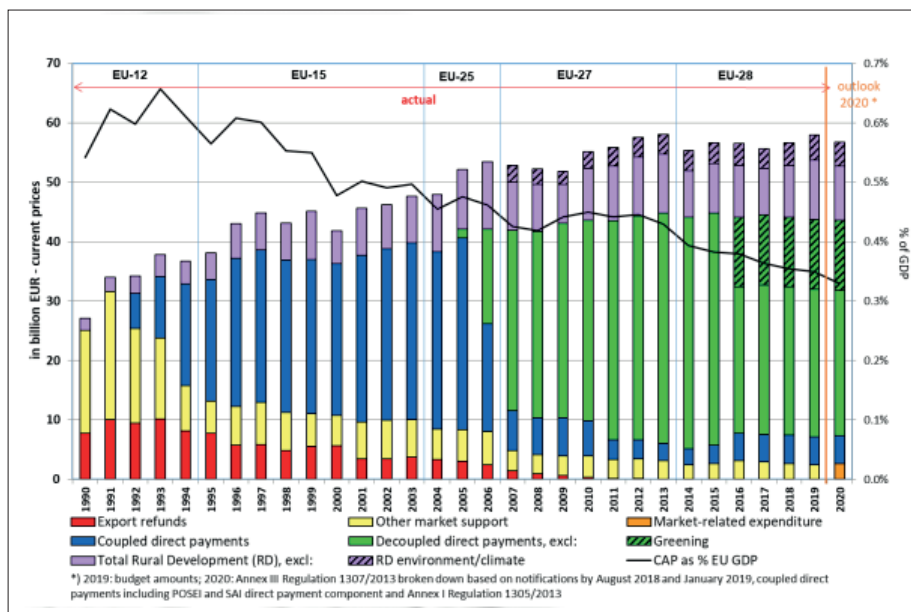


Fig. 1 *Evoluzione temporale dal 1980 al 2020 delle spese connesse alla politica agricola dell'UE (fonte: UE - DG Agricoltura)*

*offshores environmental damage to other nations* e quello di Gabriele Fontana e Luigi Mariani dal titolo *Farm to Fork – un documento d'indirizzo che non concilia i mezzi con i fini*, pubblicato su «Agrarian Sciences» (<https://agrariansciences.blogspot.com/2020/06/farm-to-fork-un-documento-dindirizo.html>) e su «Ventunesimo secolo» (n. 2, 2020, pp. 6-9).

L'idea di scrivere ancora sull'argomento prende le mosse dal fatto che sono di recente stati pubblicati due rapporti tecnico-scientifici che presentano valutazioni di scenario quantitative relative agli impatti dei nuovi indirizzi politici dell'UE su produzioni agricole, ambiente, redditi dei produttori e importazioni. Questi rapporti sono stati sviluppati rispettivamente dal JRC (Joint Research Centre) della Commissione Europea (Barreiro-Hurle et al., 2021) e dall'USDA (United States Department of Agriculture), il Dipartimento dell'Agricoltura Statunitense (Beckman et al., 2020). Obiettivo di questo articolo è pertanto quello di offrire ai lettori una sintesi di quanto è emerso da queste analisi con alcuni nostri commenti.

### 3. IL RAPPORTO DEL JRC

Il rapporto (Barreiro-Hurle et al., 2021) si fonda sui dati ottenuti con il modello CAPRI, impiegato da oltre un decennio nelle analisi ex ante degli impatti delle politiche agricole e ambientali. In questo studio il modello è stato applicato ipotizzando la piena attuazione delle proposte di riforma della PAC, allo scopo di misurare gli effetti sull'agricoltura dell'UE, compresi quattro obiettivi quantitativi proposti nel F2F e nel BDS.

L'analisi considera la riduzione nell'impiego dei prodotti fitosanitari, la riduzione del surplus di nutrienti, l'aumento della superficie ad agricoltura biologica e l'aumento della superficie dedicata ad ambienti ad elevata biodiversità. Gli impatti sono modellizzati considerando tre scenari:

- Scenario 1 - Applicazione di F2F e BDS senza alcuna modifica alla PAC, che rimarrebbe quella in vigore per il periodo 2014-2020;
- Scenario 2 - Cambiamento della PAC per adeguarla agli obiettivi delle strategie F2F e BDS, senza la disponibilità di finanziamenti UE della Next Generation;
- Scenario 3 - Cambiamento della PAC come nello scenario 2, ma supportata da adeguati finanziamenti UE.

Il modello adottato considera principalmente gli aspetti legati all'offerta e non tiene conto dei futuri cambiamenti nelle scelte dei consumatori.

Il rapporto evidenzia gli impatti potenziali della futura PAC con riferimento a una serie di indicatori di effetto a livello ambientale, produttivo, dei redditi, dei prezzi e del commercio.

Per l'analisi dei risultati produttivi dell'agricoltura biologica viene considerata l'ipotesi alla base della PAC e della BDS secondo cui la coltivazione biologica interesserà il 25% della superficie agricola europea. Gli effetti produttivi di tale prospettiva sono ricavati dal dataset europeo FADN (tab. 1). Rispetto a tali dati occorre peraltro evidenziare che la nostra esperienza porta a ritenere realistici i cali di resa indicati per tutte le macro-regioni, tranne quelli relativi alla regione mediterranea, ove i cali di resa indicati per tutte le colture sono da noi ritenuti piuttosto sottostimati. Infatti pur non disponendo di dati ufficiali per l'Italia sulle produzioni e sui rendimenti unitari delle coltivazioni biologiche, a nostro avviso cali di resa realistici per gli areali ad agricoltura intensiva risulterebbero compresi tra il 20 e il 40% per il frumento, il mais, gli altri cereali e le orticole. Cali inferiori potrebbero, invece, essere considerati per le aree marginali.

PRODOTTO	EUROPA CENTRALE NORD	EUROPA CENTRALE SUD	EUROPA DEL NORD	EUROPA DEL SUD	IRLANDA
Altri cereali*	-42.9	-34.1	-32.2	-16.1	-45.4
Mais	-32.3	-22.1	Np	-4.6	Np
Oleaginose**	-56.7	-31.8	-41.6	-11.4	Np
Orticole***	-42.1	-43.6	-40.6	-11.5	-76.4
Frumento	-44	-34.4	-40.6	-12	-55.9
Fruttiferi****	-51.3	-57.1	-35.9	-22.5	-63.6
Colture permanenti esclusi i fruttiferi	-8.5	-20.9	-5.2	-11.6	-3.8
<i>Np: Coltura non significativamente presente</i> <i>(*) Altri cereali comprendono segale, orzo, avena, ecc.</i> <i>(**) Colza, girasole e soia</i> <i>(***) Fra cui pomodoro e patata</i> <i>(****) Melo, agrumi e altri fruttiferi</i>					

Tab. 1 *Calì di resa per le diverse colture a seguito della conversione da agricoltura convenzionale ad agricoltura biologica (dati FADN riferiti alle diverse regioni agro-ecologiche)*

I risultati relativi allo scenario 1 pongono in evidenza:

- un aumento della superficie agricola utilizzata (SAU) del 3% nel tentativo di far fronte alla domanda da parte di un sistema con rese in calo;
- un calo del 4% della superficie e del 15% della produzione dei cereali, a seguito di una contrazione dell'11% nelle rese;
- una riduzione del 4% della superficie e del 16% delle produzioni delle oleaginose;
- una stabilità delle superfici (+ 0,1%) e un calo delle produzioni delle orticole e delle colture permanenti (fruttiferi e non);
- una riduzione del 10% nel numero di capi e nelle produzioni delle bovine da latte;
- un calo del 18% nel numero di capi e del 14% nella produzione bovina da carne;
- un calo del 14% nel numero di capi e del 16% nella produzione di suini;
- una riduzione del 9% nel numero di capi e del 10% nella produzione ovi-caprina;
- una riduzione del 17% nel numero di capi e del 16% nella produzione degli avicoli.

Sulla base di questi dati l'auto-provvigionamento delle carni scenderà del 14% e quello del latte del 10%.

Lo studio sottolinea inoltre che le variazioni stimate nei tassi di auto-provvigionamento porteranno ad aggiustamenti nei flussi commerciali ed in particolare:

- Nel settore dei cereali la posizione commerciale netta dell'UE peggiorerà per la combinazione di maggiori importazioni (+39%, in sostituzione della produzione interna dell'UE) e di minori esportazioni (-38%, poiché l'offerta interna scenderà del 22% e i prezzi UE più elevati diventeranno meno competitivi). Ciononostante, l'UE dovrebbe rimanere un esportatore netto di cereali.
- Le importazioni di semi oleosi nell'UE aumenteranno in modo significativo, trainate dalla necessità di surrogare la produzione nazionale con le importazioni. Si stima inoltre che gran parte delle importazioni di semi oleosi sarà costituita da colza prodotta in Canada e in Ucraina.
- La forte diminuzione nella domanda di mangimi ridurrà significativamente l'importazione di panelli (soprattutto panelli di soia per l'alimentazione zootecnica). Pertanto le importazioni UE dai maggiori partners commerciali diminuiranno (del 18% dai paesi del Mercosur, del 35% dagli USA e del 24% dalla Russia).
- La domanda di carne ovicaprina sarà soddisfatta da importazioni provenienti soprattutto da Australia, Nuova Zelanda e paesi del Mercosur.
- L'export di carni suine scenderà del 77%, con un drastico calo del tasso di auto-provvigionamento e un forte aumento dei prezzi al produttore.
- L'import di avicoli aumenterà significativamente, triplicando gli acquisti da Brasile e Thailandia.

Secondo gli estensori dello studio, gli effetti negativi sopra elencati potrebbero essere almeno parzialmente contenuti da cambiamenti nelle diete e diminuzione delle perdite di cibo (food waste).

Significative reazioni vengono inoltre paventate a livello dei prezzi, soprattutto per i prodotti di origine animale (fig. 2). In queste condizioni, a seconda della variazione dell'offerta totale, si determineranno impatti sul reddito dei diversi settori e in particolare il reddito del settore cerealicolo andrà incontro a una sensibile riduzione (-26%). Sebbene il calo di reddito sia in parte compensato dall'aumento dei prezzi alla produzione (+8,2%) e dal calo dei costi variabili (-1,6%), tali effetti non saranno abbastanza forti da compensare il forte calo dei ricavi totali (-8,6%), guidato dalla riduzione dei rendimenti dell'11%. Impatti minori sono stimati per il settore degli ortaggi e delle colture permanenti, per i quali la riduzione dovrebbe attestarsi intorno al 15%.

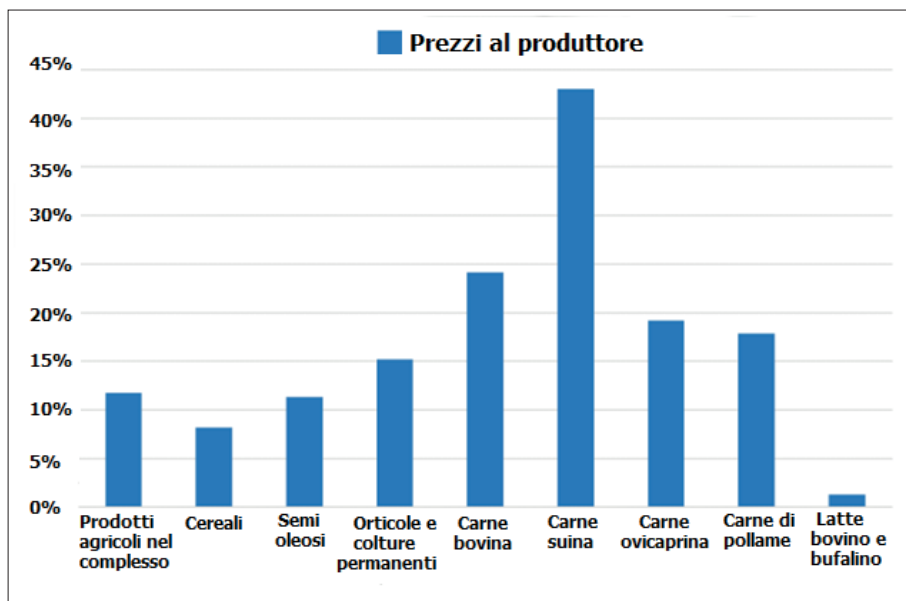


Fig. 2 Variazioni percentuali dei prezzi al produttore per l'Europa a 27 nello scenario 1 delineato nel rapporto del JRC e che prevede il raggiungimento degli obiettivi F2F e BDS e il mantenimento della PAC 2014-2020

#### 4. GLI IMPATTI SULL'AMBIENTE

Gli impatti in termini di emissioni di inquinanti e di gas a effetto serra delle nuove politiche UE stimate dal report JRC sono riassunti in tabella 2. A questo riguardo è necessario anzitutto osservare che a livello globale le riduzioni di emissioni riportate in tabella saranno compensate dagli aumenti generati nei Paesi che forniranno all'Europa quanto essa non sarà più in grado di produrre.

Va altresì osservato che in questa valutazione sono state considerate soltanto le minori emissioni di  $\text{CO}_2$ , mentre non è stato tenuto in conto il minore assorbimento fotosintetico derivante dalla riduzione delle produzioni agricole. In particolare, con riferimento ai soli cereali, il calo produttivo previsto (del 15%, pari a circa 45 milioni di tonnellate) (Worldbank - <https://data.worldbank.org/indicator/AG.PRD.CREL.MT?locations=EU>) si tradurrà in una diminuzione dell'assorbimento fotosintetico totale pari a 222 milioni di tonnellate di  $\text{CO}_2$ <sup>1</sup>, di cui il 50% è stoccato nella granella. La riduzione del

<sup>1</sup> Il valore di 222 Mt di  $\text{CO}_2$  è stato ottenuto ipotizzando una produzione cerealicola nell'area

20,3% (tab. 2) delle emissioni di gas serra totali del settore agricolo espressi come CO<sub>2</sub> equivalenti (426 milioni di tonnellate<sup>2</sup>) corrisponde a 89 milioni di tonnellate di CO<sub>2</sub> ed è pertanto abbondantemente inferiore al mancato assorbimento fotosintetico di CO<sub>2</sub> da parte delle colture che consegnerà al calo di produzione indotto dalle strategie comunitarie.

In relazione a tale prospettiva va inoltre considerato che l'agricoltura biologica, che le nuove politiche UE tendono a privilegiare, è nel complesso da considerare meno sostenibile di quella convenzionale a livello ambientale in quanto richiede, a seconda delle colture, dal 20 al 40% in più di terra per produrre la stessa quantità di prodotto finale (Searchinger et al., 2018). L'estensione delle produzioni biologiche a livello globale comporterebbe dunque un'importata aumento delle emissioni dovuto alla distruzione di foreste e praterie e al dissodamento di nuove terre che si renderebbe necessario per soddisfare la domanda di prodotti agricoli (Burney et al., 2010).

A ciò si aggiunga che le emissioni per unità di prodotto legate al processo produttivo biologico sono superiori rispetto a quelle dell'agricoltura convenzionale, come evidenziato ad esempio da Searchinger et al. (2018) per il frumento (+75% di CO<sub>2</sub> equivalente emessa per unità di prodotto biologico rispetto al convenzionale) e per il pisello (+56%) e da Bacenetti et al. (2016) per il riso (+335%, secondo calcoli riferiti al kg di riso lavorato). In sintesi a nostro avviso una non corretta analisi della sostenibilità ambientale delle nuove strategie UE, rischia di falsare i risultati attesi, con significative conseguenze negative sull'intero comparto agricolo europeo e più in generale sul piano ambientale globale.

Alla luce di queste considerazioni riteniamo invece che una effettiva riduzione delle emissioni di gas serra da parte del settore agricolo possa essere ottenuta mediante un'intensificazione sostenibile dei processi produttivi basata sull'innovazione nei campi della genetica e delle tecniche agronomiche e di allevamento animale.

---

UE di 300 milioni di tonnellate (Mt) di granella. In tal caso, considerando un'umidità del 13%, il calo produttivo del 20% corrisponde a 52 Mt che dividendo per 0.5 (Harvest index) porta a una sostanza secca totale persa di 104 Mt, valore da moltiplicare per 0.58 per determinare il carbonio totale (61 Mt) e poi per 44/12 per ottenere la CO<sub>2</sub> (222 Mt).

<sup>2</sup> fonte: Agri-environmental indicator - greenhouse gas emissions – [https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Archive:Agri-environmental\\_indicator\\_-\\_greenhouse\\_gas\\_emissions&cid=374989#Total\\_emissions\\_from\\_the\\_EU\\_agricultural\\_sector](https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Archive:Agri-environmental_indicator_-_greenhouse_gas_emissions&cid=374989#Total_emissions_from_the_EU_agricultural_sector)



IMPATTO AMBIENTALE		SCENARIO I (MISURE F2F E BDS CON LA PAC DEL 2014-2020) – VALORI ESPRESSI IN %
Azoto	Surplus	-33.5
	Quota lisciviata	-36.2
Ammoniacca	Minerale	-39.3
	Da concimazione organica	-31.5
	Totale	-33.0
Metano	Da fermentazioni enteriche	-14.6
	Da concimazione organica	-12.2
Protossido d'azoto	Da concimazione minerale	-40.4
	Da concimazione organica	-3.2
Emissioni totali di gas serra (espressi come equivalenti di CO <sub>2</sub> )	totale	-20.3
Emissioni di gas serra diversi da CO <sub>2</sub> (espressi come equivalenti di CO <sub>2</sub> )	totale	-14.8

Tab. 2 *Riduzioni delle emissioni di inquinanti e di gas ad effetto serra di origine agricola previste con il raggiungimento degli obiettivi F2F e BDS alle condizioni della PAC 2014-2020*

## 5. RAPPORTO DELL'USDA

L'analisi dell'USDA conferma sostanzialmente i risultati dello studio europeo del JRC, evidenziando che le restrizioni all'agricoltura imposte dalle Autorità europee attraverso riduzioni mirate dell'uso di terra, fertilizzanti e prodotti fitosanitari avranno conseguenze importanti sulla struttura e sulla produttività dell'industria agro-alimentare europea. Inoltre, essendo l'UE un'importante area di produzione agricola e avendo un peso significativo nel commercio agricolo internazionale, le nuove strategie europee avranno verosimilmente un notevole impatto sui mercati internazionali dei prodotti agricoli di base e, di conseguenza, sul più ampio sistema agricolo-alimentare.

Per analizzare gli effetti sulle prospettive di mercato e sulla sicurezza alimentare, l'analisi USDA ha principalmente fatto riferimento alle diverse riduzioni degli input previste dalle strategie UE: riduzione dell'uso di prodotti fitosanitari del 50%, riduzione dei fertilizzanti del 20%, riduzione dell'uso di antimicrobici nell'allevamento di bestiame e nell'acquacoltura del 50% e

sottrazione all'uso agricolo del 10% dei terreni agricoli esistenti. Per cogliere gli impatti potenziali non solo dell'adozione di tali strategie da parte dell'UE ma anche della «transizione globale verso sistemi agroalimentari sostenibili attraverso le sue politiche commerciali e gli strumenti di cooperazione internazionale» (Commissione europea, 2020), sono stati utilizzati i seguenti 3 scenari.

- Scenario 1. Presuppone che solo l'UE attui le strategie F2F e BDS senza restrizioni e vincoli per i Paesi da cui l'UE importa i prodotti agricoli.
- Scenario 2. Prevede che le restrizioni sugli input agricoli siano estese ai partners commerciali dai quali l'UE importa. Questo scenario assume contemporaneamente che l'UE limiti il 50% delle importazioni dalle regioni che non adottano le strategie, allo scopo di simulare l'uso di politiche commerciali ad hoc per sostenere tali strategie.
- Scenario 3. Riguarda il caso in cui le strategie vengano adottate a livello globale, come suggerito dall'impegno della UE a sostenere la transizione su questo ordine di scala.

Lo studio si è basato sull'adozione del modello Global Trade Analysis Project-AgroEcological Zones (GTAP-AEZ) che esamina i potenziali impatti sul mercato e sull'economia dall'adozione delle strategie suddividendo il mondo in 18 zone agroecologiche e tenendo esplicitamente conto delle diverse possibilità di uso della terra. L'analisi è stata condotta assumendo un orizzonte di medio periodo (8-10 anni). Inoltre per esaminare i potenziali impatti sulla sicurezza alimentare derivanti dall'adozione delle nuove strategie UE si sono considerati i cambiamenti stimati nel prodotto interno lordo (PIL) e nei prezzi alimentari, utilizzando il modello International Food Security Assessment (IFSA) dell'USDA che è stato adottato per la stima dei cambiamenti nel consumo alimentare nei paesi in via di sviluppo.

Secondo l'analisi USDA l'adozione delle strategie F2F e BDS porterà a una riduzione della produzione agricola dell'UE, riducendo al contempo la sua competitività nei mercati interni e di esportazione. Se l'applicazione di tali strategie dovesse riguardare anche altre regioni del mondo, gli effetti aumenterebbero significativamente, con conseguenze per il benessere e la sicurezza alimentare mondiale.

In estrema sintesi gli output del modello indicano i seguenti effetti per il 2030:

- nell'UE la produzione agricola, calerebbe del 12, dell'1 e del 7%, rispettivamente, nei tre scenari considerati. Al contempo la produzione agricola mondiale scenderebbe dall'1 al 4 e fino all'11% (tab. 3).
- Il declino della produzione agricola restringerebbe l'offerta alimentare dell'UE, con un conseguente aumento dei prezzi che avrebbe un impatto negativo sui bilanci dei consumatori, con costi alimentari pro capite che aumenterebbero rispettivamente di 153, 651 e 602 euro l'anno nei tre scenari considerati. Va al riguardo osservato che gli aumenti dei costi alimentari sarebbero significativi per la maggior parte delle regioni, nel caso in cui le strategie dovessero essere adottate a livello globale. Per gli Stati Uniti, i prezzi e i costi alimentari rimarrebbero relativamente invariati, tranne che nel caso di un'adozione globale. Il declino della produzione nell'UE e in altri ambiti geografici porterebbe a una riduzione del commercio, anche se alcune regioni potrebbero trarre beneficio dai cambiamenti dei flussi di importazione. Tuttavia, se il commercio dovesse venire limitato, come conseguenza dell'imposizione delle misure proposte, gli impatti negativi sarebbero più significativi nelle regioni con popolazioni del mondo soggette a maggiori livelli di insicurezza alimentare. Il calo nella produzione e nel commercio, insieme ai previsti aumenti dei prezzi delle materie prime alimentari, ridurrebbe significativamente il prodotto interno lordo (PIL) dell'UE, specialmente se l'adozione fosse limitata all'UE (scenario 1). In tal caso, il declino del PIL dell'UE rappresenterebbe il 76% del declino del PIL mondiale. Se tuttavia le strategie fossero adottate anche al di fuori dell'UE, la quota di quest'area nel declino del PIL mondiale scenderebbe al 49% nello scenario medio e fino al 12% per cento, se applicate a livello globale. Gli effetti sul PIL degli Stati Uniti sarebbero inferiori a quelli dell'UE e del mondo intero in tutti gli scenari adottati.
- L'insicurezza alimentare, riferita al numero di persone che non hanno accesso a una dieta di almeno 2.100 calorie al giorno, aumenterebbe significativamente nei 76 Paesi a basso e medio reddito, a causa dell'aumento dei prezzi delle materie prime alimentari e del calo del reddito e a essere coinvolta sarebbe soprattutto l'Africa. Entro il 2030, il numero di persone in condizioni di insicurezza alimentare, nel caso di adozione della sola UE, aumenterebbe di 22 milioni rispetto al numero previsto senza l'adozione delle strategie proposte mentre con gli scenari 2 e 3 il numero salirebbe rispettivamente a 103 e a 185 milioni.

TIPI DI SCENARIO	UNIONE EUROPEA	USA	MONDO
Scenario 1: Adozione nella UE			
Produzione (variazione %)	-12	0	-1
Prezzi (variazione %)	17	5	9
Importazioni (variazione %))	2	-3	-
Esportazioni (variazione %))	-20	6	-
Reddito lordo azienda agricola (variazione %))	-16	6	2
Aumento dei costi alimentari (variazioni pro-capite/anno, in €)	130	50	43
Aumento insicurezza alimentare <sup>1</sup> (milioni di persone)	-	-	22
PIL (variazione, in miliardi di €)	-60	-1,7	-80
Scenario 2: Adozione nei paesi di importazione di UE <sup>2</sup>			
Produzione (variazione %)	-11	0	-4
Prezzi (variazione %)	60	1	21
Importazioni (variazione %))	-10	-7	-
Esportazioni (variazione %))	-10	-2	-
Reddito lordo azienda agricola (variazione %))	8	1	4
Aumento dei costi alimentari (variazioni pro-capite/anno, in €)	553	14	135
Aumento insicurezza alimentare (milioni di persone)	-	-	103
PIL (variazione, in miliardi di €)	-158	-73	-307
Scenario 3: Adozione a livello mondiale			
Produzione (variazione %)	-7	-9	-11
Prezzi (variazione %)	53	62	89
Importazioni (variazione %))	-5	-15	-
Esportazioni (variazione %))	2	3	-
Reddito lordo azienda agricola (variazione %)	15	34	17
Aumento dei costi alimentari (variazioni pro-capite/anno, in €)	512	435	382
Aumento insicurezza alimentare (milioni di persone)	-	-	185
PIL (variazione, in miliardi di €)	-113	-63	-972
<sup>1</sup> L'insicurezza alimentare è valutata facendo riferimento a 76 stati a basso e medio reddito individuale			
<sup>2</sup> Nello scenario 2 vengono presi in considerazione gli stati con importanti scambi commerciali con l'UE, quali i paesi EFTA, altri paesi Europei non UE, Turchia, Ucraina, paesi africani e mediorientali.			

Tab. 3 *Impatto sulle produzioni agricole, prezzi, redditi e sicurezza alimentare nei 3 tipi di scenario considerati nello studio USDA*

## 6. VALUTAZIONI DI SINTESI

Secondo le analisi dei rapporti del JRC e dell'USDA l'applicazione delle strategie F2F e BDS dell'UE darebbe luogo ai seguenti principali effetti:

- aumento dei costi di produzione e dei prezzi al consumo dei prodotti agricoli e calo della redditività;

- riduzione delle produzioni agricole, con conseguenti perdite di quote di mercato interno da parte dei produttori europei a favore di quelli di altri Paesi;
- diminuzione delle emissioni di GHG e di diversi inquinanti come parte di un programma ambizioso, attraverso il quale l'UE si propone di diventare, entro il 2050, il primo continente climaticamente neutrale. Tale risultato potrebbe tuttavia rivelarsi vano, a livello globale, a causa delle maggiori emissioni in altre aree del mondo, nelle quali verranno delocalizzate le produzioni agricole di cui l'Europa non sarà più in grado di autoapprovvigionarsi. Tutto ciò presenta preoccupanti analogie con quanto accaduto in passato nel settore industriale europeo (industria chimica, siderurgica, ecc.), a seguito della delocalizzazione al di fuori dell'area UE di moltissimi impianti.

Alla luce di queste condizioni e stante la rigidità della domanda di prodotti alimentari nell'ambito UE si rafforza negli analisti internazionali il timore che l'adozione di queste strategie UE e delle politiche agricole ad esse connesse possa esternalizzare l'impatto ambientale della produzione agricola in altri Paesi (es. USA, Indonesia, Malesia, Brasile e Argentina), con i quali in questi ultimi anni la UE ha firmato importanti accordi di importazione.

Se non verranno introdotte norme e sistemi di controllo rigidi riguardo agli standard qualitativi e di sicurezza dei prodotti importati, l'Europa non avrà che una limitata possibilità di intervenire sui sistemi produttivi adottati negli altri Paesi produttori, con il rischio di non ottenere alcun cambiamento significativo a livello globale. In queste condizioni, il commercio internazionale sarà verosimilmente regolamentato da un mosaico di regole in parte volontarie e in parte vincolanti, come quelle relative al rispetto della direttiva europea del 2018 sull'energia rinnovabile, la quale prevede, ad esempio, che i semi oleosi, come quelli di soia o colza, non possano provenire da terreni recentemente deforestati. A questo riguardo occorre osservare che negli ultimi tre decenni, all'aumento nei paesi dell'Unione Europea della superficie boschiva (+13 milioni di ettari circa), è corrisposto il disboscamento di un'area forestale almeno equivalente in Brasile e Indonesia per consentire la produzione di semi oleosi destinati al consumo europeo (Burkhardt e Karlsbro, 2021; Fuchs et al., 2020). Le strategie comunitarie con la sopraccitata direttiva sull'energia rinnovabile, consentono di rendere sostenibili le produzioni ottenute da terreni deforestati prima del 2008 e in ogni caso non si ha alcuna garanzia del rispetto degli standard di sostenibilità ambientale nella coltivazione dei prodotti importati. A titolo di esempio, negli accordi firmati tra l'UE e il Mercosur, i Paesi produttori si limitano ad accettare di fare il possibile per migliorare le loro norme ambientali e sulla protezione del lavoro.

## 7. CONCLUSIONI

A conclusione di questa sintetica analisi riteniamo utile richiamare le seguenti considerazioni dell'europarlamentare italiano Herbert Dorfmann del partito popolare, che con l'olandese della sinistra Anja Hazekamp è correlatore del provvedimento strategico F2F: «Credo che con la collega abbiamo trovato una formulazione tale da affrontare le preoccupazioni che emergono dallo studio del JRC. Sei o sette anni fa parlavamo di intensificazione sostenibile. Ora è rimasta solo la sostenibilità e questo è un errore d'impostazione della Commissione sulle strategie per l'agro-alimentare. Non voglio dire che il modello attuale sia perfetto, anzi per quanto riguarda i prodotti di derivazione animale l'Unione Europea non può agire solo come importatore di soia per esportare latte in polvere e carne di maiale. Con la risoluzione dell'Europarlamento daremo risposte politiche alle preoccupazioni evidenziate dallo studio del JRC».

Riallacciandoci a questa affermazione ci permettiamo di aggiungere che la sostenibilità non è solo ambientale, ma anche economica e sociale. Con la riduzione attesa della produzione agricola le strategie F2F e BDS rischiano di incrementare la dipendenza della produzione agricola dal sostegno finanziario pubblico e di aumentare il livello della spesa alimentare, senza determinare alcun reale beneficio per l'ambiente, tanto a livello locale che globale.

Le due strategie porteranno per i prodotti agricoli a un importante aumento della dipendenza dell'UE da altri Paesi, esportando in questi insostenibilità, come già è accaduto per le risorse energetiche. Pare dunque definitivamente tramontare l'idea dei padri fondatori dell'autosufficienza agro-alimentare ed energetica come base per la sicurezza e lo sviluppo dell'Unione. Ci permettiamo, al riguardo, di stabilire un parallelismo tra il settore agricolo e quello dell'energia, settore, quest'ultimo, in cui l'UE, pesantemente deficitaria sul piano delle fonti energetiche (petrolio, gas naturale) ha deciso di rinunciare a carbone e nucleare, sperando di indurre gli altri Paesi a comportarsi allo stesso modo, con esiti paradossali come quello per cui per produrre energie rinnovabili si importano in Europa dalla Cina pannelli fotovoltaici realizzati con l'energia prodotta da centrali a carbone.

Ci auguriamo che possano emergere ripensamenti in merito alla valutazione dei rischi strategici connessi all'adozione di tali misure e che la declinazione applicativa di linee di indirizzo tanto controverse e discutibili sia improntata a maggiore attenzione alla realtà dei fatti e all'evidenza dei dati, sia sul piano scientifico che su quello strettamente tecnico-economico.

## ABSTRACT

*If the best is the enemy of good: economic, environmental and food safety impact of the Eu Farm to Fork and biodiversity policies.* The European Commission's Green Deal strategic plan aims to achieve EU climate neutrality by 2050. As part of this plan, the Farm-to-Fork (F2F) strategy and the Biodiversity Strategy (BDS) will be accompanied by a new Common Agricultural Policy (CAP post-2020).

This paper presents and discusses the results of techno-economic analyses carried out by the European Union's Joint Research Centre (JRC) and the United States Department of Agriculture (USDA). The two analyses are based on fundamentally different economic models, but they converge in stating that the application of F2F and BDS strategies will result in an increase in production costs and consumer prices of agricultural products and a decrease in profitability as well as a reduction in agricultural production, with a consequent loss of domestic market share by European producers to those of other countries.

Under these conditions, the lower emissions of pollutants and greenhouse gases will be compensated by an increase in emissions in other areas of the world, to which the agricultural production that Europe will no longer be able to produce will be relocated. In addition, according to the authors, environmental sustainability at the European level will also be called into question if one takes into account that reduced agricultural production will result in a significant reduction in the removal of CO<sub>2</sub> from photosynthesis.

## BIBLIOGRAFIA

- BACENETTI J., FUSI A., NEGRI M., BOCCHI S., FIALA M. (2016): *Organic production systems: Sustainability assessment of rice in Italy*, «Agriculture, Ecosystems and Environment», 225, pp. 33-44.
- BARREIRO-HURLE J., BOGONOS M., HIMICS M., HRISTOV J., PÉREZ-DOMIGUEZ I., SAHOO A., SALPUTRA G., WEISS F., BALDONI E., ELLEBY C. (2021): *Modelling environmental and climate ambition in the agricultural sector with the CAPRI model. Exploring the potential effects of selected Farm to Fork and Biodiversity strategies targets in the framework of the 2030 Climate targets and the post 2020 Common Agricultural Policy*, EUR 30317 EN, Publications Office of the European Union, Luxembourg, 2021, ISBN 978-92-76-20889-1, doi:10.2760/98160, JRC121368.
- BECKMAN J., IVANIC M., JELLIFFE J.L., BAQUEDANO F.G., SCOTT S.G. (2020): *Economic and Food Security Impacts of Agricultural Input Reduction Under the European Union Green Deal's Farm to Fork and Biodiversity Strategies*, A report summary from the Economic Research Service of USDA, November 2020.
- BURKHARDT D., KARLSBRO K. (2021): *An EU Framework to halt and reverse EU driven global deforestation*, European Parliament, Legislative Train 06.2021. 8 Environment and Public Health and Food Safety: ENVI.
- BURNEY J.A., DAVIS S.J., LOBELL D.B. (2010): *Greenhouse gas mitigation by agricultural intensification*, Proceedings of the National Academy of Sciences, p. 107, 12052-12057.
- EUROPEAN COMMISSION (EC) (2018a): *Proposal for a Regulation of the European Parliament and of the Council establishing rules on support for strategic plans to be drawn up by*

- Member States under the Common agricultural policy (CAP Strategic Plans) and financed by the European Agricultural Guarantee Fund (EAGF) and by the European Agricultural Fund for Rural Development (EAFRD) and repealing Regulation (EU) No 1305/2013 of the European Parliament and of the Council and Regulation (EU) No 1307/2013 of the European Parliament and of the Council*, COM(2018)392 final.
- EUROPEAN COMMISSION (EC) (2018b): *Proposal for a Regulation of the European Parliament and of the Council on the financing, management and monitoring of the common agricultural policy and repealing Regulation (EU) No 1306/2013*, COM(2018)393 final.
- EUROPEAN COMMISSION (EC) (2018c): *Proposal for a Regulation of the European Parliament and of the Council amending Regulations (EU) No 1308/2013 establishing a common organisation of the markets in agricultural products, (EU) No 1151/2012 on quality schemes for agricultural products and foodstuffs, (EU) No 251/2014 on the definition, description, presentation, labelling and the protection of geographical indications of aromatised wine products, (EU) No 228/2013 laying down specific measures for agriculture in the outermost regions of the Union and (EU) No 229/2013 laying down specific measures for agriculture in favour of the smaller Aegean islands*, COM(2018)394 final.
- EUROPEAN COMMISSION (EC) (2020a): *A Farm to Fork Strategy for a fair, healthy and environmentally-friendly food system Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions*, COM(2020)381.
- EUROPEAN COMMISSION (EC) (2020b): *EU Biodiversity Strategy for 2030. Bringing nature back into our lives. Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions*, COM(2020)380.
- FONTANA G. e MARIANI L. (2020): *Farm to fork – un documento d'indirizzo che non concilia i mezzi con i fini*, «Agrarian Sciences», <https://agrariansciences.blogspot.com/2020/06/farm-to-fork-un-documento-dindirizzo.html> (pubblicato su XXI secolo n. 2, 2020, pp. 6-9).
- FUCHS R., BROWNS C., ROUNSEWELL M. (2020): *Europe's Green Deal offshores environmental damage to other nations*, «Nature», 586 (7831), 671.
- PARLAMENTO EUROPEO E CONSIGLIO (2018): *Direttiva (UE) 2018/2001 del Parlamento Europeo e del Consiglio dell'11 dicembre 2018 sulla promozione dell'uso dell'energia da fonti rinnovabili*.
- SEARCHINGER R.D., WIRSENIUS S., BERINGER T., DUMAS P. (2018): *Assessing the efficiency of changes in land use for mitigating climate change*, «Nature», vol. 564, pp. 249-253.
- WORLD BANK. <https://data.worldbank.org/indicator/AG.PR.D.CREL.MT?locations=EU>



AMEDEO ALPI<sup>1</sup>

## La coscienza delle piante (ovvero, la forza della omologazione contro la diversità)

<sup>1</sup> Vicepresidente dell'Accademia dei Georgofili

### INTRODUZIONE

Dal punto di vista evolutivo, le piante si sono originate, sul nostro pianeta, molto prima della comparsa degli esseri umani e possiamo considerarle come il substrato indispensabile affinché molte forme di vita animale, uomo compreso, potessero apparire sulla terra. Si è stabilita, quindi, una relazione di convivenza uomo-pianta che ha prodotto numerosi vantaggi per l'uomo, prima ancora che quest'ultimo imparasse a "sfruttarle" per vari scopi e, soprattutto, per fini alimentari, dando luogo alla nascita dell'agricoltura, che è comunemente situata a circa 10.000 anni fa. Durante questo lungo periodo le piante sono state variamente studiate per accertarne, dapprima, la loro qualità di esseri viventi e infine cercando di capirne i meccanismi fondamentali che ne guidano la vita sulla terra. Ma è dal 1700, sino ai nostri giorni, che si è assistito a un crescendo di studi che hanno accertato molti aspetti della loro specifica organizzazione cellulare, anatomica, fisiologica, biochimica, sino a entrare nello specifico della organizzazione subcellulare e biologico-molecolare, svelando sempre una avvincente complessità, non certo inferiore a quella di altri organismi, anche animali.

Nei classici corsi di biologia, tenuti nelle Università di tutto il mondo, le piante sono definite da specifiche caratteristiche che le distinguono dagli animali. Tali differenze sono molte e non è certo il caso di ricordarle; possiamo solo sottolineare, sinteticamente, che i "piani organizzativi", cioè le caratteristiche di fondo, intorno alle quali si organizza un tipo di vita vegetale o animale, sono profondamente diversi, nonostante le molteplici analogie che possiamo riscontrare soprattutto a livello biochimico.

Da qualche decennio si sta dibattendo sulle caratteristiche più sottili di ogni essere vivente e, ad esempio, nel Trattato di Lisbona, siglato dall'UE nel 2007, gli animali sono definiti "esseri senzienti", definizione che viene dalla bioetica e anche dalla filosofia. La definizione di essere senziente implica la capacità di sensazione. Questo concetto ha animato accese discussioni, tanto è vero che l'appartenenza anche delle piante agli organismi senzienti è stata sostenuta da alcuni gruppi di ricercatori. Sino a quando queste affermazioni rimanevano nell'ambito delle ipotesi non è stato dato loro molto peso. La questione si è posta su di un altro piano quando si è voluto dare un riscontro scientifico a queste ipotesi. A questo punto è doveroso entrare nel merito e stabilire esattamente su quali esperimenti scientifici si basano tali affermazioni che porterebbero persino ad ammettere la presenza della "coscienza" negli organismi vegetali.

La coscienza, pur se variamente definita, è, comunque, sostanzialmente riferita agli esseri umani così come si scopre studiando Filosofia o Etica. In anni recenti, un piccolo gruppo di biologi vegetali ha sostenuto, insistentemente, che le piante abbiano una coscienza, riportando, a supporto di tale convinzione, alcuni dati derivati dalle loro sperimentazioni. Questa affermazione ha incontrato l'incredulità di gran parte degli studiosi di biologia vegetale, mentre è stata accolta trionfalmente dai grandi mezzi di comunicazione (stampa e TV) e rilanciata da vari "social network" della rete. Pertanto non è più una novità sorprendente sentir parlare di "piante intelligenti" o di "neurobiologia vegetale" e, alla fine, di "coscienza delle piante".

Il 16 Novembre del 2020 è stato pubblicato su «Protoplasma» (vol. 258, 3, pp. 459-476), un articolo dal titolo significativo *Debunking a myth: plant consciousness* cioè, *Sfatare un mito: la coscienza delle piante*, ad opera di quattro ricercatori, Michael R. Blatt, Andreas Draguhn, David G. Robinson, Lincoln Taiz, appartenenti a centri di ricerca europei e americani, noti internazionalmente nel settore della biologia vegetale, insieme a un esperto di coscienza, Jon Mallatt della Scuola di Medicina della Università dello Stato di Washington (USA).

Il lavoro condotto da questo gruppo di ricercatori si è basato sulla separazione del concetto di intelligenza da quello di coscienza in modo da discutere con precisione i 12 punti fondamentali sui quali, secondo alcuni studiosi di pensiero contrario, si baserebbe la coscienza delle piante, analizzando ciascuno di essi con criterio sperimentale. Come hanno fatto i sostenitori della coscienza nelle piante, anche i ricercatori sopra ricordati hanno concentrato i loro studi sulla coscienza fenomenica o primaria che comprende qualsiasi tipo di esperienza o sensazione. Si tratta di quel tipo di coscienza che non coinvolge la capacità di riflettere sulle esperienze, o la consapevolezza di sé, o un pensie-

ro cognitivo superiore. Tutte queste ultime sono forme superiori di coscienza che si sono sviluppate solo in alcuni organismi, mentre tutti gli organismi coscienti sono dotati di coscienza primaria. Talora i sostenitori della coscienza nelle piante hanno ritenuto che tali organismi avrebbero la consapevolezza delle variazioni dell'ambiente che le circonda, e da questa "consapevolezza" deriverebbe un comportamento "intenzionalmente" conseguente. Questa interpretazione sarebbe ben diversa dalla comune spiegazione che si basa sulle risposte di adattamento alle condizioni esterne, risposte che sono utilizzate, da sempre, a fini evolutivi.

#### I VARI PUNTI A FAVORE DELLA COSCIENZA DELLE PIANTE NON SONO SOSTENIBILI SUL PIANO SCIENTIFICO

*Uno dei punti fondamentali a sostegno della coscienza nelle piante è che ogni cellula vivente sia cosciente; in altre parole, esisterebbe una "base cellulare della coscienza".*

La dimostrazione di ciò sarebbe basata sull'esistenza nelle cellule di recettori sensoriali che, incontrandosi con una molecola segnale, danno luogo a una cascata di eventi biochimico-cellulari che generano risposte cellulari; tale serie di eventi verrebbe intesa come una percezione sensoriale cosciente. Si tratta di una conclusione errata, in quanto la fisiologia cellulare può produrre reazioni complesse senza alcuna coscienza. Inoltre le cellule sono anche capaci di apprendimento non-associativo che non richiede alcuna coscienza, così come rivendicato dai ricercatori delle scienze comportamentali. Inoltre se tutte le cellule sono coscienti dovremmo ammettere che tutte le cellule di un essere umano dovrebbero essere coscienti, mantenendo lo stato di coscienza delle cellule procariotiche, ma solo la malattia del cervello attenua la coscienza umana, mentre la perdita di cellule somatiche non genera nessuna alterazione in tal senso. È una palese contraddizione.

Infine la constatazione che alcuni organismi unicellulari sarebbero capaci di raggiungere una destinazione precisa, palesando una coscienza intelligente, può essere spiegata bene con semplici meccanismi di recezione (fenomeni di chemiotassi e recezione da parte delle membrane cellulari).

Similmente a quanto detto sopra, anche l'affermazione che la coscienza delle piante sia manifesta perché esse percepiscono gli stimoli ambientali e rispondono in modo adattativo indirizzandosi verso precisi obiettivi, non è accettabile. Infatti, come già detto, tutti gli organismi viventi si adattano alla volubilità dei fattori esterni, tramite meccanismi fisiologici di ricezione, elaborazione e risposta agli stimoli.

Pertanto, a seguito delle considerazioni sopra esposte, la “base cellulare della coscienza” non si può scientificamente sostenere.

*Altro punto di dibattito è la presenza nelle piante, così come negli animali, di potenziali di membrana e segnali elettrici, tali da consentire la coscienza.*

Le piante hanno sicuramente potenziali di membrana e possono propagare fluttuazioni di potenziale in grado di determinare risposte in altre parti del corpo vegetativo. Ma la domanda è: quanto questi fenomeni sono simili ai segnali elettrici dei neuroni animali? La “neurobiologia vegetale” sostiene che la trasmissione delle informazioni nelle piante avvenga tramite processi neurone-simili e che, quindi, ci sia una “equivalenza elettrochimica” tra piante e animali. Tale equivalenza non è dimostrabile.

Esistono differenze fondamentali. L'attività elettrica nelle piante è alimentata dal trasporto di protoni  $H^+$ , mentre negli animali dal trasporto di ioni  $Na^+$ . Inoltre le componenti elettrica e chimica del gradiente elettrochimico sono diverse: nelle piante il 50-70% dell'energia libera, generata dalle  $H^+$ -ATPasi della membrana cellulare, costituisce la componente elettrica e la rimanente parte si ritrova sotto forma di gradiente di pH, negli animali è esattamente l'opposto, circa 80-90% dell'energia, generata dalle  $Na^+/K^+$ -ATPasi, serve per formare il gradiente di  $Na^+$  (e  $K^+$ ) e soltanto una piccola frazione si ritrova come componente elettrica. I fautori della coscienza nelle piante uniscono la constatazione che tutte le cellule sono in grado di regolare i flussi ionici attraverso le loro membrane, all'esistenza generalizzata di sistemi di segnali elettrici, implicando, conseguentemente, l'esistenza di una coscienza, ma non considerano che la regolazione dei flussi e la segnalazione elettrica (come i potenziali di azione) sono presenti in tessuti non neuronali anche di animali e non hanno alcun ruolo nella integrazione delle informazioni. Cioè la presenza di attività elettrica non è un discrimine che consente, di per sé, l'identificazione della coscienza.

A questo riguardo le differenze tra piante e animali sono molte:

- a. Le cellule vegetali non sono in grado di attivare rapidamente i canali del  $Na^+$  dando origine ai potenziali di azione così come accade negli animali; questi stessi potenziali sono invece attivati dall'influsso di ioni  $Ca^{2+}$ , seguito da depolarizzazione da parte del  $Cl^-$  e da ripolarizzazione da parte di flussi di  $K^+$ . In generale i flussi di  $Ca^{2+}$  servono nelle piante per adattare la pressione di turgore, oppure segnalano un attacco parassitario, per cui l'esistenza di potenziali causati dal calcio non sta a significare una elaborazione delle informazioni neurone-simile.
- b. I potenziali di azione nelle piante si trasmettono a una velocità variabile da  $0.04-0.6 \text{ m s}^{-1}$  contro una velocità  $0.5-100 \text{ m s}^{-1}$  tipica negli animali.

- c. I potenziali di azione nei vegetali causano un efflusso netto di  $K^+$  e  $Cl^-$ , mentre negli animali i potenziali di azione sono osmoticamente neutri, cioè non utili, come avviene invece nelle piante, per la regolazione osmotica.
- d. Le fluttuazioni del potenziale elettrico nelle piante sono molto diversificate anche a seguito della localizzazione tissutale, analogamente a quanto accade in vari organi animali, mentre risultano molto specifiche le rapide fluttuazioni del potenziale nel tessuto nervoso. I segnali nervosi sono molto più uniformi, vincolati per velocità ottimale, efficienza energetica e trasferimento di informazioni.
- e. Il glutammato e i suoi recettori sono importanti per la neurotrasmissione negli animali; i recettori per il glutammato esistono anche nelle piante, dove però il loro ruolo sembra limitato alla regolazione del flusso del  $Ca^{2+}$  anziché nella neurotrasmissione.

Infine, siccome il sistema di segnali elettrici nelle piante è di gran lunga meno compreso di quello presente negli animali, la cautela vuole che si usi prudenza nel fare similarità tra i due.

*Un punto di forza dei sostenitori della coscienza nei vegetali è rappresentato dai potenziali di azione e altri segnali elettrici che si propagherebbero in modo neurone-simile, attraverso gli elementi del floema.*

Il sistema vascolare delle piante comprende il floema attraverso il quale si realizzano trasporti di segnali elettrici a considerevole distanza nella pianta, tuttavia questo sistema di trasmissione differisce notevolmente da quello attivo negli assoni neuronali. I potenziali di azione trasportati dal floema differiscono dai potenziali di azione degli animali perché includono una funzione osmoregolatrice, così come ben descritto in molte risposte fisiologiche dei vegetali: le cellule guardia degli stomi, i movimenti rapidi nelle piante carnivore, o di alcune speciali foglie ecc.

Una situazione diversa è rappresentata dai “potenziali di variazione” che si generano nel floema. Questi potenziali sono di particolare significato perché riguarderebbero la possibilità, da parte delle piante, di fare l’esperienza cosciente del dolore. Questi potenziali di variazione nelle piante sono gli analoghi funzionali più vicini ai segnali nocicettivi neurali che conducono alla coscienza del dolore negli animali. Comunque questo accostamento non si può fare in quanto il potenziale di variazione e il potenziale di azione nocicettivo sono molto diversi. Il primo si propaga a una velocità di circa  $0,001 \text{ m s}^{-1}$  mentre la velocità di propagazione di un potenziale di azione nocicettivo “lento” varia tra  $0,5\text{-}2 \text{ m s}^{-1}$ . Inoltre, negli animali, i potenziali d’azione nocicettivi vengono elaborati dal sistema nervoso centrale (dal bulbo e dal talamo)

che li traducono nella sensazione di “dolore”. Nelle piante ciò non avviene perché non esiste un centro di complessità più elevata per l’elaborazione e le integrazioni necessarie. Pertanto la trasmissione nel floema, sia dei potenziali di azione che dei potenziali di variazione, non assomiglia alla trasmissione del segnale negli assoni neurali. Il potenziale di variazione, quindi, non può avere alcun ruolo nella coscienza.

Durante la stesura di questi commenti è stato pubblicato un articolo, *Plants have neither synapses nor a nervous system*, nella rivista «Journal of Plant Physiology» (vol. 263, August 2021, 153467), da parte di due degli autori citati in precedenza, David G. Robinson e Andreas Draguhn; già dal titolo appare chiara la volontà di insistere sulla contestazione della Neurobiologia vegetale.

L’obiettivo dell’articolo è l’esame critico dell’esistenza nelle piante di sinapsi e di un sistema di elaborazione delle informazioni simile al sistema nervoso degli animali. Le conclusioni sono molto chiare: 1) sinapsi, neuroni e reti neuronali sono strutture altamente specializzate che servono per la trasmissione, l’integrazione e la trasformazione di stimoli elettrici. Tali proprietà consentono varie manifestazioni quali le risposte molto rapide a stimoli esterni, il movimento, arrivando al conferimento della cognizione. I sistemi nervosi complessi si sono affermati in tre gruppi di animali dotati di grande capacità di movimento, gli Eumetazoa, sia nei Radiata (Cnidaria e Ctenophora) che nei Bilateria. Nelle piante strutture simili alle sinapsi non esistono, così come l’acido gamma-amminobutirrico o il glutammato rinvenuti nelle piante non funzionano come neurotrasmettitori.

Stessa valutazione negativa viene fatta a proposito della rappresentazione del floema come rete neuronale. In realtà neuroni e floema sono strutturalmente totalmente differenti e pertanto il floema non può conferire funzioni comportamentali-cognitive. La trasmissione elettrica che si osserva nel floema delle piante è correlata al sistema di segnalazione del  $\text{Ca}^{++}$  associato, per esempio, alla risposta della pianta quando viene ferita. La fisiologia delle piante è molto ben spiegata su solide basi scientifiche e non ha bisogno di essere forzata da similitudini con comportamenti animali o umani.

Si può, infine, constatare che le cellule vitali del floema delle piante raramente vivono più di un anno. Tanto per fare un confronto, gli esseri umani non rigenerano il loro sistema nervoso o il cervello ogni anno! Per ultima constatazione si riporta che se la presenza del floema è la base per la coscienza delle piante, allora le piante non vascolari, come i muschi, ne sarebbero privi nonostante abbiano anch’esse straordinari sistemi di percezione e di risposta a vari stimoli ambientali.

*Si potrebbe sostenere che le piante, così come fanno gli animali mediante i neuroni, usino i segnali elettrici per integrare le informazioni ai fini della coscienza.*

Gli studiosi della coscienza negli animali ritengono che essa dipende dalla integrazione delle informazioni che comporta numerose azioni di feedback, o comunicazione reciproca, tra neuroni. Tale segnalazione elettrica integrata, facilmente riscontrabile nel cervello degli umani o di altri animali, non è mai stata riscontrata nel floema delle piante, come pure in nessun altro tessuto delle stesse. Nelle piante certamente vi sono segnali *forward* ma non *feedback*.

Un ulteriore requisito, affinché avvenga l'integrazione delle informazioni, è l'elevato grado di interconnessione tra neuroni; mediamente nel cervello umano un neurone ne contatta circa altri 10.000 mediante le sinapsi o strutture di ramificazione. Nelle piante i fasci vascolari sono essenzialmente lineari e la traslocazione degli zuccheri, come dei segnali avviene in modo lineare. Tuttavia i fasci vascolari possono avere delle interconnessioni con le anastomosi, così da formare una rete utile per il movimento laterale di acqua, ioni minerali o elaborati fotosintetici, ma sono simili a quanto accade nelle reti di vasi sanguigni negli animali che non risultano coinvolti nella coscienza.

Inoltre le anastomosi sono assenti negli internodi *giovani*, così come risultano assenti nelle plantule appena germinate. Se la coscienza fosse importante per le piante, affinché esse possano prendere importanti decisioni, perché agirebbe solo nelle piante mature e non nelle giovani che ne hanno maggiore bisogno essendo più vulnerabili?

Le constatazioni sopra riportate escludono una integrazione dei segnali elettrici, fondamentale per la realizzazione della coscienza.

*Per i sostenitori della coscienza nelle piante, esse avrebbero il centro di comando (cervello) nelle radici.*

Questa suggestiva ipotesi si basa sulla presenza, nelle cellule dell'apice radicale, di aree ricche in actina; tali aree vengono considerate come evidenza di esocitosi (se il riferimento è al rilascio di neurotrasmettitori), cioè di vescicole che ricordano le sinapsi neuronali. Tuttavia non c'è mai stata una chiara dimostrazione di presenza delle sinapsi nelle piante.

Inoltre la localizzazione di una struttura, simile al cervello e deputata alla coscienza, all'interno della zona di transizione dell'apice radicale, che si trova tra il meristema apicale e la zona di allungamento, appare assai impropria in quanto le cellule della zona di transizione risultano immature e indifferenziate, mentre i neuroni funzionali sono maturi e completamente differenziati.

L'equivalenza, tra la zona di transizione degli apici radicali con il cervello, consente un'altra obiezione. A seguito dell'attività del meristema apicale le cellule che si formano si allontanano progressivamente dal loro punto di

origine verso le parti più mature dello stelo o della radice; ad esempio nella radice di mais l'intera popolazione di cellule, presenti nella zona di transizione, è spostata nella zona di allungamento all'incirca ogni 5 ore. Pertanto si ritiene che la continua rimozione delle cellule dal "centro di comando" sia incompatibile con la formazione di quelle reti stabili di elaborazione in grado di generare coscienza.

Infine, ancora una volta, si ritiene che la coscienza non sia necessaria alle piante in quanto esse rispondono agli stimoli esterni tramite sistemi di segnalazione molecolare che coinvolge gli ormoni, il  $\text{Ca}^{2+}$  e altre molecole conosciute.

*Nella prospettiva che le piante abbiano una coscienza, esse dovrebbero esibire un comportamento proattivo, anticipatore.*

Le piante sarebbero capaci di comportamenti non solo reattivi, ma anche proattivi, cioè intenzionali, manifestando, pertanto una coscienza. Per poter fare queste affermazioni si portano esempi che mostrano come la crescita di radici e fusticini verso un preciso obiettivo, ma anche l'avvitarsi di germogli intorno a sostegni, siano valide evidenze di una coscienza. Si tratta invece di percezione di stimoli e di risposta ad essi, cioè sono meccanismi di risposta, quindi non proattivi. I modelli di crescita delle piante sono pre-programmati per rispondere agli stimoli ambientali, mentre il comportamento proattivo, che suppone la coscienza, si basa sulla possibilità di raggiungere un obiettivo nella totale assenza di stimoli, come se si possedesse una mappa mentale dell'ambiente circostante.

*Il classico apprendimento associativo sarebbe presente anche nelle piante.*

Esistono due tipi di addestramento associativo. Il primo è il riflesso condizionato o riflesso pavloviano dimostrato dalla famosa esperienza del cane di Pavlov che in presenza del cibo produce abbondante salivazione, mentre il suono di una campanella non esercita alcuno stimolo in questo senso. Però se si procede a un addestramento del cane mediante il suono di una campanella seguita dalla presenza del cibo, si ottiene abbondante salivazione anche solo dopo il suono della campanella non seguita dalla presenza di cibo.

Il secondo tipo di riflesso condizionato si basa sull'apprendimento operante o strumentale, dimostrato dal topo che, tenuto in gabbia, riesce a capire che se tira una leva ottiene cibo. Quest'ultimo è il tipo di addestramento più avanzato.

L'apprendimento classico non è mai stato dimostrato nelle piante. Inoltre non c'è alcun rapporto tra questo tipo di apprendimento e la coscienza, in quanto l'apprendimento classico è sempre stato considerato una espressione



priva di coscienza. A tal riguardo sono stati fatti esperimenti su topi il cui midollo spinale era stato sezionato in modo da separarlo dal cervello; i risultati hanno sempre confermato che il classico apprendimento associativo non richiede coscienza.

*Se la comunicazione tra piante fosse intenzionale potrebbe dimostrare un auto-riconoscimento cosciente.*

Ad esempio, le piante “comunicano” tra di loro tramite lo scambio di composti volatili o anche altri tipi di segnali, destando interpretazioni circa l'esistenza di comportamenti simili alla cognizione. In realtà lo scambio di segnali tra organismi è fenomeno assolutamente diffuso in biologia e lo si può osservare persino nei batteri, senza richiedere alcuna coscienza o cognizione. Questi fenomeni si spiegano tenendo conto che tutti gli organismi si sono evoluti anche tramite questa continua comunicazione con stimoli esterni. Tutti gli organismi realizzano la distinzione tra ciò che è interno e ciò che, di contro, è estraneo – anche altamente complessa come nei sistemi immunitari –, ma che, tuttavia, non richiede né costituisce la coscienza. Quindi una pianta non può essere considerata cosciente, non più, eventualmente, di quanto lo sia un batterio.

*Per accertare le caratteristiche fondamentali che consentano di definire che un organismo è dotato di coscienza, i suoi sostenitori hanno seguito l'ipotesi del “naturalismo neurobiologico”.*

Tale ipotesi prevede due assunti logici. Il primo assunto è la presenza di una coscienza emotiva. Si assume, cioè, che le emozioni possono essere rivelate dall'apprendimento strumentale derivato dall'esperienza, come constatiamo negli esseri umani che hanno emozioni positive o negative in linea con l'apprendimento tramite meccanismo di ricompensa-punizione. Siccome questo tipo di reazione è definita come non cosciente, si è cercato di individuare un apprendimento strumentale elevato che metta insieme a) una iniziale attrazione per una ricompensa e b) la memoria di questa ricompensa.

Ciononostante, gli unici organismi che rientrano in questo criterio e che posseggono una coscienza emotiva sono i vertebrati, gli artropodi e alcuni cefalopodi.

Pertanto, sulla base delle affermazioni sopra riportate non è possibile sostenere per le piante una coscienza emotiva perché esse non mostrano neppure un *apprendimento operante e limitato*.

Il secondo assunto concerne la coscienza basata sull'immagine. Questo tipo di coscienza richiede la presenza nell'organismo di strutture di elevata complessità atte a “mappare” l'ambiente in cui vivono.

I sostenitori della coscienza nelle piante ritengono che dentro a un batterio “l’ambiente è internamente mappato” e tale sarebbe la situazione nelle piante. Però nessun dato è stato mai riportato a comprovare tale affermazione.

### *L'evoluzione della coscienza.*

Ragionando sia sulla coscienza emotiva che sulla coscienza basata su immagini, si arriva a concludere che vertebrati, artropodi e cefalopodi sono i soli organismi coscienti, e che le piante devono restare escluse. La coscienza è, apparsa, in ciascuna delle tre linee animali, probabilmente in modo indipendente, mediante una evoluzione di tipo convergente perché la ricostruzione della loro storia ci porta a un comune antenato che non possiede un cervello.

La coscienza, così come è stata definita, non ha rapporti diretti con la mobilità, anche se si può facilmente constatare che i gruppi di animali citati sono proprio quelli dotati di maggiore capacità di movimento. Pertanto queste conclusioni convergono, di fatto, con la convinzione diffusa che la coscienza si possa evolvere solo negli organismi dotati di elevata mobilità.

### CONCLUSIONI

Le considerazioni sopra esposte portano ad alcune principali affermazioni:

1. Le piante non mostrano un comportamento proattivo, che implica l’agire in anticipo per prevenire un problema.
2. L’apprendimento “classico” non è indice di coscienza, per cui l’osservazione di un tale apprendimento nelle piante è irrilevante.
3. Le notevoli differenze tra i segnali elettrici nelle piante e nel sistema nervoso degli animali non si accordano con la equivalenza funzionale degli stessi. A differenza degli animali, i potenziali di azione delle piante hanno molti ruoli fisiologici che coinvolgono il sistema di “signaling” del  $\text{Ca}^{2+}$  o il controllo osmotico; i potenziali variabili delle piante hanno proprietà che precludono ogni percezione delle ferite come il dolore.
4. Nelle piante non c’è alcuna dimostrazione dell’esistenza di un “signaling” elettrico per l’integrazione dell’informazione che è un prerequisito per la coscienza.
5. La maggior parte dei sostenitori della coscienza nelle piante afferma che tutte le cellule sono coscienti, ma si tratta di una teoria speculativa sulla quale si sono accumulati molti dati contrari.

Credo che sia molto importante contestare l'esistenza di una coscienza nelle piante affinché la biologia delle piante, disciplina scientifica, non sia turbata da idee approssimate e sostanzialmente non vere. È un dovere che dobbiamo avere nei confronti dei giovani che vanno formati al rispetto della scienza "galileiana" cioè basata sulle osservazioni sperimentali e ripetibili.

Non c'è alcun motivo serio per diffondere idee su di una vita delle piante più assimilabile a quella nostra o, più in generale a quella degli animali, quando tutto il fascino che le piante hanno su di noi rimane inalterato anche senza una loro coscienza.

#### ABSTRACT

*The consciousness of plants (i.e., the strength of homologation against diversity).* The definition of sentient being implies the ability to feel. This concept has animated heated discussions, so much so that the belonging of plants to sentient organisms has also been supported by some groups of researchers. As long as these statements remained within the scope of the hypotheses, they were not given much weight. To give a scientific confirmation to these hypotheses it is necessary to enter into the merits and establish exactly on which scientific experiments these affirmations are based, which would even lead to admitting the presence of "consciousness" in plant organisms. In recent years, some plant biologists have insisted that plants have a consciousness, while others have been very surprised by such conclusions. The word has passed to the scientific proofs of both sides. In this article, both points of view are compared.

#### BIBLIOGRAFIA

- CHIATANTE D., MONTAGNOLI A., TRUPIANO D., SFERRA G., BRIANT J., ROST T.L. AND SCIPPA G.L. (2021): *Meristematic Connectome: A Cellular Coordinator of Plant Responses to Environmental Signals?*, «Cells», 10 (10), 2544.
- LYON P., KEIJZER F., ARENDT D. AND LEVIN M. (2021): *Reframing cognition: getting down to biological basics*, Philosophical Transactions of the Royal Society B. 25 January, <https://doi.org/10.1098/rstb.2019.0750>
- NEREIDA BUENO-GUERRA (2021): *Where Is Ethology Heading? An Invitation for Collective Metadisciplinary Discussion*, «Animals», 11 (9), 2520.
- SEGUNDO-ORTIN M. & CALVO P. (2021): *Consciousness and cognition in plants*, «Wiley Interdisciplinary Reviews: Cognitive Science», e1578.



Risorse naturali



CATELLO DI MARTINO<sup>1</sup>, PASQUALINO MINOTTI<sup>1</sup>, ERIKA DI IORIO<sup>1</sup>,  
CLAUDIO COLOMBO<sup>1</sup>, THOMAS W. CRAWFORD JR<sup>2</sup>

## Effetti delle acque reflue del frantoio e di due estratti naturali come inibitori della attività dei batteri nitrificanti e della perdita per lisciviazione di nitrati. Prove su coltura in vaso di sedano (*Apium graveolens* L.)

<sup>1</sup> Dipartimento di Agricoltura, Ambiente e Alimenti (DIAAA), Università degli Studi del Molise

<sup>2</sup> Global Agronomy, LLC, Marana, AZ 85658, USA

L'azoto è uno dei nutrienti più importanti per la crescita delle piante e quindi fortemente impiegato nei sistemi agricoli tramite la fertilizzazione. La mineralizzazione delle matrici biologiche del suolo attraverso il processo di decomposizione organica (batteri ammonificanti) e la fissazione biologica dell'azoto (batteri azoto-fissatori) rappresentano le principali fonti naturali della forma ammoniacale nel suolo. L'azoto, infatti, come ben noto, può essere organicato dalla cellula solo se presente nello stato di massima riduzione, ovvero in forma ammoniacale (-3). La presenza dell'ammonio nel suolo, di origine biologica o inorganica, comunque ha una vita media limitata e in alcuni casi la permanenza può risultare troppo breve per un'efficiente assimilazione da parte delle radici e ciò per un processo di nitrificazione operato da batteri chemioautotrofi del suolo, che ossidando l'ammonio a nitrato alimentano attraverso il potere energetico generato la propria autotrofia nei confronti del carbonio.

La nitrificazione, cioè la conversione dell'ammonio, tramite nitrito, in nitrato da parte dei microrganismi del suolo, tuttavia, porta alla lisciviazione dei nitrati e alla produzione di monossido di azoto gassoso (N<sub>2</sub>O) e come tale a una perdita fino al 50% della disponibilità di azoto per la pianta. La lisciviazione dei nitrati può provocare anche l'eutrofizzazione delle acque sotterranee, potabili e sanitarie, proliferazioni di alghe tossiche e perdita di biodiversità, mentre il monossido di azoto è un gas a effetto serra con un potenziale di riscaldamento globale 300 volte maggiore dell'anidride carbonica.

Logicamente, l'inibizione della nitrificazione è un'importante strategia utilizzata in agricoltura per ridurre le perdite di azoto e contribuire a una pratica più rispettosa dell'ambiente. Tuttavia, la microflora identificata e cruciale nella nitrificazione, cioè i batteri ossidanti l'ammoniaca (AOB), e batteri

nitriti-ossidanti (NOB) o i batteri comammox scoperti di recente (cioè batteri ossidanti l'ammoniaca completi) (Daims et al., 2015; van Kessel et al., 2015) (fig. 1), sembrano essere poco studiati a questo riguardo. In questo paper, forniamo un aggiornamento sui diversi percorsi nell'ossidazione dell'ammoniaca, l'importanza per l'agricoltura e l'interazione con gli inibitori della nitrificazione. Pertanto, speriamo di individuare possibili strategie per ottimizzare l'efficienza dell'inibizione della nitrificazione a basso impatto ambientale.

L'azoto è uno dei nutrienti più importanti per la crescita e la produttività della pianta. Le due principali forme di azoto che vengono utilizzate nei fertilizzanti e che vengono assorbiti in modo efficiente dalle radici delle piante sono ammonio ( $\text{NH}_4^+$ ) e nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ). L'ammonio viene utilizzato direttamente per sintetizzare la glutammina e successivamente anche altri amminoacidi. Il nitrato, d'altra parte, per poter essere assimilato deve essere ridotto ad ammonio con un inevitabile impiego di potenziale riducente che il parenchima radicale o il mesofillo fogliare spendono in termini di equivalenti NAD(P)H (Salsac et al., 1987). In quanto tale, l'applicazione di ammonio come fertilizzante azotato, risulta più efficiente, con conseguente aumento dei livelli di clorofilla, amido, monosaccaridi e aminoacidi, tutti parametri importanti della coltura (Sato et al., 2014). Inoltre, l'ammonio stimola la ramificazione delle radici, aumentando la superficie per l'assorbimento dei nutrienti (Lima et al., 2010; Xuan et al., 2017). Il nitrato tuttavia, stimola l'allungamento laterale della radice per captare più nutrienti e inoltre la presenza di isoforme plastidiche della Nitrato reduttasi assimilativa (NAR) (NADP) dipendente e della Nitrito Reduttasi (NIR) (Ferridossina dipendente [Joy and Hageman, 1966]), potrebbero esercitare un effetto drenante sugli equivalenti di riduzione tilacoidali, limitando così i rischi di inneschi pseudociclici di trasporto elettronico. Pertanto, miscele di entrambi le fonti di azoto favoriscono la crescita delle piante (Hachiya and Sakakibara, 2017). Nel suolo, il nitrato non aderisce bene alle particelle di terreno caricate negativamente, e quindi percola facilmente e, con la lisciviazione, non è più disponibile per le piante. L'ammonio, invece, con la sua carica elettrica positiva è attratto dalle particelle di terreno cariche negativamente sia per la fase minerale che per la sua porzione organica. Quindi, l'ammonio è la forma d'azoto più efficiente in campo, ma viene parzialmente rimosso dalla rizosfera a causa dell'ossidazione dell'ammoniaca, con conseguente produzione di nitrato meno preferibile. In altri termini potremmo riassumere affermando che il nitrato rappresenta la forma d'azoto più disponibile, l'ammonio la più appetibile.

La perdita di nitrato, per lisciviazione, può causare l'eutrofizzazione oppure portare, attraverso un'ulteriore trasformazione, alla produzione del monossido d'azoto ( $\text{N}_2\text{O}$ ) (Stein and Klotz, 2016) (fig. 1), gas a effetto serra. In quanto



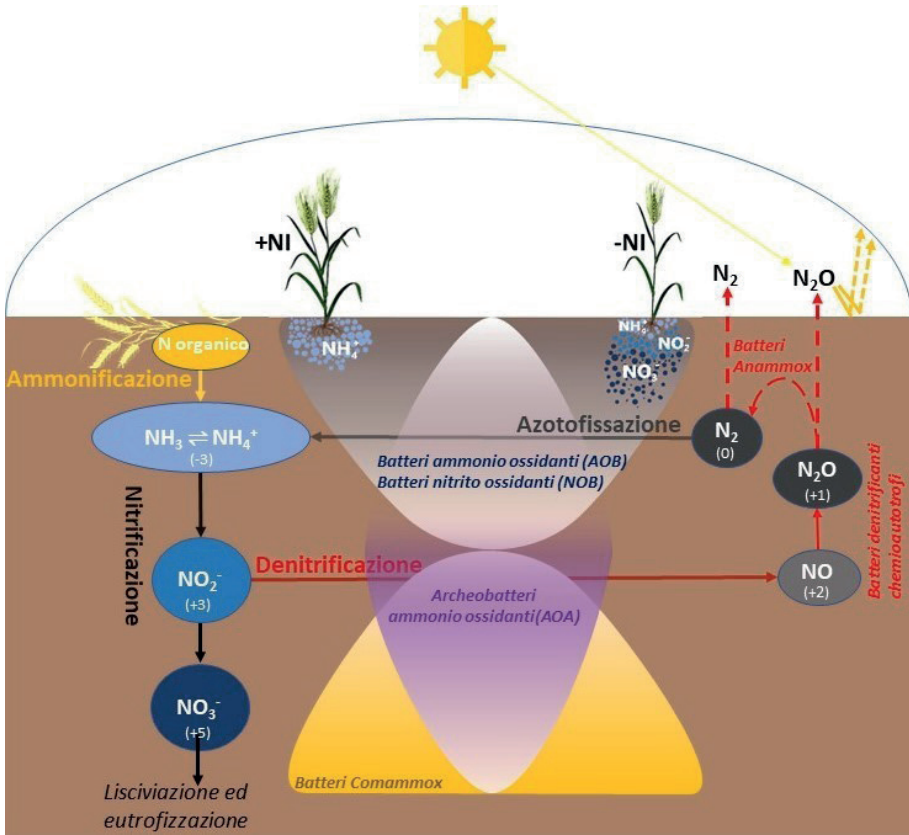


Fig. 1 Schema del ciclo dell'azoto nel suolo, comprese le distribuzioni relative dei batteri AOB, NOB (alone grigio), AOA (alone viola) e comammox (alone giallo) nel suolo e l'impatto ambientale dell'uso di un inibitore della nitrificazione

La nitrificazione (freccie nere) è un processo aerobico in due fasi in cui l' $\text{NH}_4^+$  viene ossidato a  $\text{NO}_3^-$  tramite  $\text{NO}_2^-$ . Il prodotto  $\text{NO}_3^-$  viene successivamente riconvertito in  $\text{NO}_2^-$  e quindi  $\text{NH}_4^+$  dalle piante tramite riduzione assimilativa dei nitrati. Una parte non poco consistente dei nitrati viene invece persa tramite lisciviazione, portando all'eutrofizzazione di acque sotterranee, fiumi e oceani, causando problemi ambientali come la contaminazione dell'acqua potabile, fioriture di alghe tossiche e perdita di biodiversità. La denitrificazione, d'altra parte, si traduce in emissioni di  $\text{N}_2$  da parte dei batteri Anammox che convertono anaerobicamente,  $\text{NO}_2^-$  in  $\text{N}_2$  gassoso, insieme ad altri batteri chemioautotrofi che possono produrre  $\text{N}_2\text{O}$  utilizzando  $\text{NO}_2^-$  come accettore di elettroni per l'ossidazione di composti inorganici come  $\text{S}_2$  e  $\text{Fe}^{2+}$ . L' $\text{N}_2\text{O}$  è un gas a effetto serra con un grave potenziale di riscaldamento globale. In definitiva i microrganismi ossidanti l'ammoniaca e le piante competono per l'azoto disponibile nel suolo. Gli inibitori della nitrificazione (NIs) possono essere utilizzati per ridurre la concorrenza tra piante e microrganismi e, di conseguenza, perdite di azoto tramite  $\text{NO}_3^-$  per lisciviazione e le emissioni di  $\text{N}_2\text{O}$  saranno ridotte mentre più  $\text{NH}_4^+$  rimane disponibile nel terreno per l'assorbimento delle piante. Questo aumento della disponibilità di  $\text{NH}_4^+$ , generalmente stimola la ramificazione laterale delle radici e promuove la crescita delle piante attraverso un maggiore foraggiamento di nutrienti. Senza NI, le perdite di azoto si traducono in una riduzione della resa del raccolto. Le sfumature colorate indicano le densità relative presunte e l'attività dei batteri AOB-NOB, AOA e comammox con l'aumentare della profondità del suolo: rispettivamente a profondità bassa, intermedia e alta.

Abbreviazioni: AOB, ammonio-ossidanti batteri; AOA, ammonio-ossidante archaea; comammox, batteri ossidanti l'ammonio completi; anammox, batteri anaerobici che ossidano l'ammoniaca; NO, ossido nitrico; DNRA, nitrato dissimilatorio riduzione ad ammoniaca,  $\text{N}_2$ , azoto;  $\text{NH}_3$ , ammoniaca;  $\text{NH}_4^+$ , ammonio, NI, inibitore della nitrificazione.

tali, questi microrganismi non solo competono con le piante per l'ammonio disponibile spostandolo sull'equilibrio dei nitrati, ma possono causare anche notevoli perdite di azoto col rischio di un significativo impatto sui cambiamenti climatici ed eutrofizzazione ambientale. Logicamente, strategie per inibire la nitrificazione sono state sviluppate nel corso degli anni, e attualmente inibitori della nitrificazione come DCD (diciandiamide), N-serve (nitrapi-rina) o ENTEC (DMPP; 3,4-dimetilpirazolo fosfato) sono ampiamente applicati in campo per mitigare gli effetti negativi della nitrificazione. Tuttavia, mentre tutti questi inibitori si sono sviluppati nel XX secolo, la conoscenza fondamentale in materia di nitrificazione è in rapida evoluzione e l'utilizzo di inibitori naturali della nitrificazione meno impattanti e in alternativa agli inibitori di sintesi chimica è già una realtà. A tale scopo, per la nostra sperimentazione, sono state studiati come potenziali inibitori naturali della nitrificazione le acque reflue di frantoio (OMW), gli estratti idroalcolici di *Mentha piperita* L. (Mp) e di *Artemisia annua* L. (Aa) per essere successivamente comparati, come capacità inibente dei batteri nitrificanti, alla diciandiamide (DCD) inibitore della nitrificazione (NI) di origine sintetica comunemente impiegato in agricoltura. La sperimentazione è stata eseguita in cella climatica utilizzando *Apium graveolens* L. come pianta di riferimento, trapiantata dopo 30 giorni dalla germinazione, in vasi da 1,3 Lt in una miscela 2:0,5:0,5 in volume, di terreno, sabbia, torba, preventivamente trattate con i suindicati agenti naturali seguendo opportune metodiche sperimentali (ovvero dosaggi dei principi attivi e fissaggio su supporti inerti a saturazione come la polvere di pomice). Le piante venivano irrigate (solo per la prima volta) con una miscela nutriente avente come unica fonte d'azoto l'ammonio solfato a una concentrazione ammoniacale pari a 200 mmol Kg<sup>-1</sup> suolo. Successivamente venivano irrigate a giorni alterni raccogliendo ogni 7 giorni 20mL di percolato dal sottovaso in alluminio. La quantità di nitrato percolato (ovvero persa per lisciviazione) risultava essere a 56 giorni dal trapianto per DCD, OMW, Mp e Aa il 24%, 26%, 67%, and 78% rispetto al nitrato lisciviato del campione controllo non trattato. Questa evidente riduzione di lisciviazione di nitrato nel suolo che in campo si tradurrebbe in un minor inquinamento delle falde, veniva confermata dal dosaggio della carica batterica degli AOB e NOB già presenti nel suolo durante i 56 giorni dell'esperimento, attraverso il conteggio microbiologico, per unità di colonie formate (CFU) in capsula petri, nei campioni dei terreni trattati (fig. 2). Come si può facilmente evidenziare dalla figura 2 la carica batterica dei nitrificanti a tempo zero di tutti i campioni esaminati è molto bassa ovvero dell'ordine di 0,2-0,3 x 10<sup>4</sup> CFU/g suolo.

Ciò vuol dire che le colonie dei nitrificanti si sviluppano e diventano batteriologicamente significative solo in presenza del substrato, ovvero ammonio

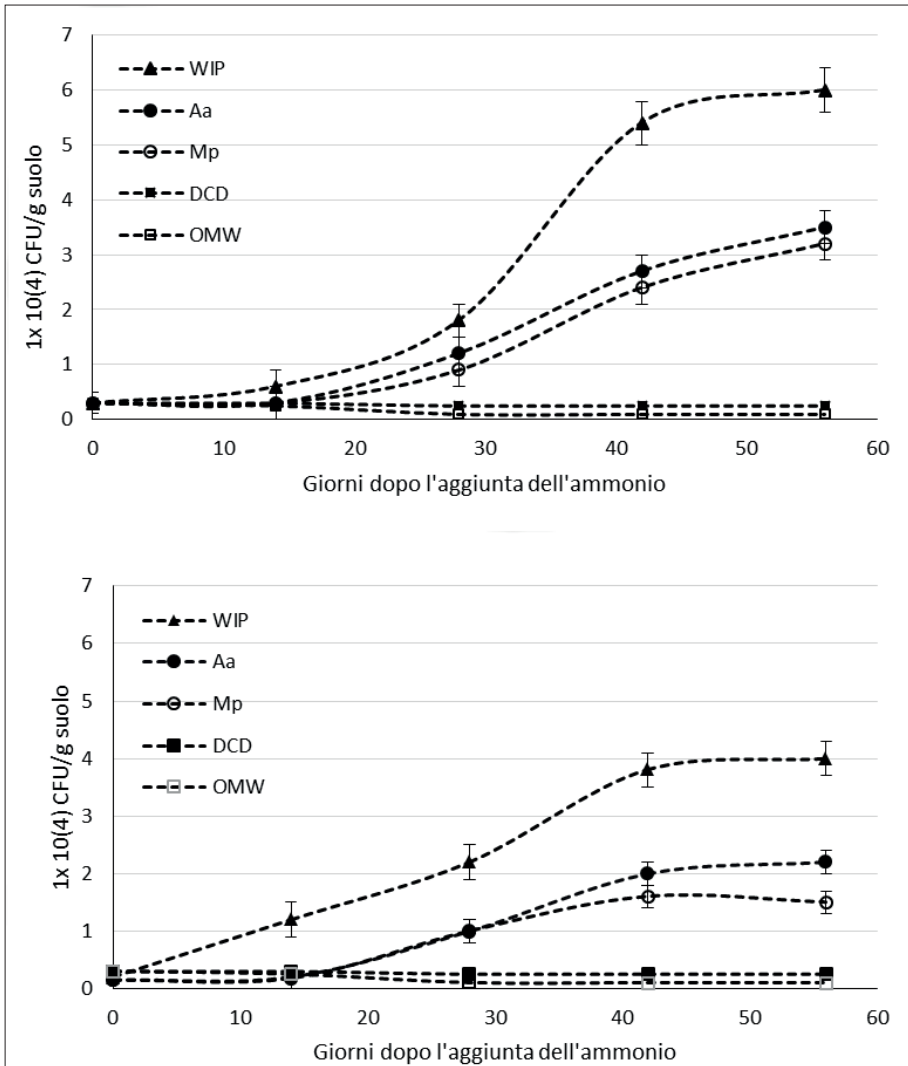


Fig. 2 a) Attività ammonio -ossidante dei batteri nitrosanti (AOB); Sviluppo delle colonie batteriche nella miscela di suolo con 4 differenti inibitori della nitrificazione (NI) in funzione del tempo (giorni) dopo l'aggiunta dell'ammonio. WIP = Vaso controllo: suolo senza pianta e senza NI; OMW = suolo + acque reflue olivicole; DCD = suolo + diciandiamide; Aa = suolo + estratto di *A. annua* L.; Mp = suolo + estratto *M. piperita* L. CFU = Unità formante colonia. Le barre dei punti corrispondono a  $\pm$  errore standard (SE) ( $n = 3$ ). b) Attività di nitrito ossidante dei batteri nitricanti (NOB); Sviluppo delle colonie batteriche nella miscela di suolo con 4 differenti inibitori della nitrificazione (NI) in funzione del tempo (giorni) dopo l'aggiunta dell'ammonio (come a)

Trattamento	<u>N<sub>ass</sub> per pianta</u>		<u>N<sub>tot</sub> per vaso (1kg)</u>		<u>N lisciviato</u>
	0 GDT	56 GDT	0 GDT	56 GDT	56 GDT
	mmol N/pianta		mmol N/vaso		mmol N/vaso
WI	0	50±4c	190±2a	45±4c	80±6a
DCD	0	95±7a	190±2a	75±6a	18±2c
OMW	0	90±6a	190±2a	78±6a	20±2c
Aa	0	70±6b	190±2a	60±5b	60±5b
Mp	0	64±5b	190±2a	58±7b	68±5b

Tab. 1 Valore medio di  $N$  assimilato per pianta ( $N_{ass}$ ),  $N$  totale ( $N_{tot}$ ) in 1 kg suolo, e  $N$  lisciviato di sei campioni (vasi) a 56 DAP

Trattamenti: WI = Controllo con pianta, ma senza inibitore della nitrificazione (NI); DCD = diciandiammide; OMW = acque reflue frantoio; Aa = estratto di *A. annua* L.; Mp = estratto di *M. piperita* L. Ciascun valore è la media  $\pm$  DS di sei repliche. In ogni colonna, valori contrassegnati da lettere comuni non sono statisticamente differenti a  $P \leq 0,05$  secondo il test di Tukey eseguito tra i diversi trattamenti NI.

e nitrito. Queste, infatti, restano basse, cioè incapaci di ossidare il substrato, solo se in presenza di inibitori efficaci come dimostrano i vasi trattati con DCD e OMW. Diversamente i trattamenti con Mp e Aa in presenza di substrato consentono lo sviluppo delle colonie nitrificanti AOB e NOB di circa il 50% rispetto ai vasi controllo. Quindi i trattamenti con Mp e Aa anche se rivelano una capacità inibente più attenuata rispetto ai trattamenti con DCD o OMW la loro azione come inibitori della nitrificazione è da considerarsi comunque significativa.

Poiché il metabolismo dell'azoto sia nelle foglie che nelle radici, misurato attraverso le attività della Nitrato reductasi assimilativa (NAR), Glutammina sintetasi (GS), la concentrazione di aminoacidi, le clorofille e le proteine totali (Dati non mostrati) differivano in funzione della diversa inibizione della nitrificazione, si è reso necessario sintetizzare il tutto come  $N_{tot}$  in un bilancio dell'azoto ben schematizzato in tabella 1. Dalla tabella 1 è possibile evidenziare un contenuto di  $N_{tot}$  maggiore per le piante trattate con DCD e OMW rispetto al controllo, cosa che si traduceva non solo in un maggior vigore organico e resa produttiva delle piante, ma anche in una minor quantità di nitrati lisciviati nelle falde.

L'OMW e in misura minore gli estratti meno efficaci di Mp e Aa, sono potenziali forme alternative al DCD come NI. I risultati ottenuti dal presente studio dimostrano che il terreno trattato con OMW o DCD riesce a custodire

e tutelare più efficacemente l' $\text{NH}_4^+$  come fonte d'azoto nel terreno durante la crescita vegetativa della pianta, migliorandone così la nutrizione azotata. Con meno  $\text{NO}_3^-$  lisciviato derivante dall'applicazione degli inibitori della nitrificazione, il fertilizzante ammoniacale è stato utilizzato di più e in modo più efficiente, rispetto a un trattamento di controllo privo di inibitore. I risultati del presente studio mostrano quindi che DCD è un NI efficiente, e OMW come alternativa naturale è quasi altrettanto efficace. Gli inibitori naturali della nitrificazione testati nel presente studio sono gradualmente biodegradati dopo il ciclo colturale e la loro capacità di ridurre perdite per lisciviazione di  $\text{NO}_3^-$ , quando accuratamente miscelati in un terreno, suggerisce un'ipotesi da verificare con ulteriori ricerche, cioè, che OMW, Ap e Mp possono ridurre le perdite per lisciviazione dei nitrati anche se impiegati per rivestire semi o granuli di fertilizzante.

#### ABSTRACT

*Effects of Olive Mill Wastewater and Two Natural Extracts as Nitrification Inhibitors on Activity of Nitrifying Bacteria, Soil Nitrate Leaching Loss, and Nitrogen Metabolism of Celery (Apium graveolens L.).* Minimizing nitrification of fertilizer ammonium ( $\text{NH}_4^+$ ) can reduce nitrate ( $\text{NO}_3^-$ ) contamination of groundwater and increase nitrogen (N) use efficiency (NUE). Olive mill wastewater (OMW), hydroalcoholic extracts of *Mentha piperita* L.(Mp) and *Artemisia annua* L.(Aa), and the synthetic nitrification inhibitor (NI) dicyandiamide (DCD) were investigated. The three natural products and DCD reduced activity of nitrifying bacteria and decreased  $\text{NO}_3^-$  leached, compared to the untreated control. OMW proved to be an almost equally effective natural alternative to DCD as a NI.

#### BIBLIOGRAFIA

- DAIMS H., LEBEDEVA E.V., PJEVAC P., HAN P., HERBOLD C., ALBERTSEN M., JEHLICH N., PALATINSZKY M., VIERHEILIG J., BULAEV A. ET AL. (2015): *Complete nitrification by Nitrospira bacteria*, «Nature», 528, pp. 504-509.
- HACHIYA T., SAKAKIBARA H. (2017): *Interactions between nitrate and ammonium in their uptake, allocation, assimilation, and signaling in plants*, «J Exp Bot», 68, pp. 2501-2512.
- JOY K.W. AND HAGEMAN R.H. (1966): *The purification and properties of nitrite reductase from higher plants, and its dependence on ferredoxin*, «Biochem. J.», 100, pp. 263-273.
- LIMA J.E., KOJIMA S., TAKAHASHI H., VON WIREN N. (2010): *Ammonium triggers lateral root branching in Arabidopsis in an AMMONIUM TRANSPORTER1;3-dependent manner*, «Plant Cell», 22, pp. 3621-3633.
- SALSAC L., CHAILLOU S., MOROT-GAUDRY J.-F., LESAIN C., JOLIVET E. (1987): *Nitrate and ammonium nutrition in plants*, «Plant Physiol Biochem», 25, pp. 805-812.
- SATO S., YANAGISAWA S. (2014): *Characterization of metabolic states of Arabidopsis thaliana*

- under diverse carbon and nitrogen nutrient conditions via targeted metabolomic analysis*, «Plant Cell Physiol», 55, pp. 306-319.
- STEIN L.Y., KLOTZ M.G. (2016): *The nitrogen cycle*, «Curr Biol», 26, R94-R98.
- VAN KESSEL M.A.H.J., SPETH D.R., ALBERTSEN M., NIELSEN P.H., OP DEN CAMP H.J.M., KARTAL B., JETTEN M.S.M., LUCKER S. (2015): *Complete nitrification by a single microorganism*, «Nature», 528, pp. 555-559.
- XUAN W., BEECKMAN T., XU G. (2017): *Plant nitrogen nutrition: sensing and signaling*, «Curr Opin Plant Biol», 39, pp. 57-65.

ALICE TRIVELLINI<sup>1</sup>, ANTONIO FERRANTE<sup>2</sup>

## Biostimolanti per le colture in serra e in vivaio

<sup>1</sup> Istituto di Scienza della Vita, Scuola Superiore Sant'Anna, Pisa

<sup>2</sup> Dipartimento di Scienze Agrarie e Ambientali, Università degli Studi di Milano

Le coltivazioni in ambiente protetto sono un comparto produttivo di notevole importanza economica nel settore ortofloricolo. Un ambiente controllato, come la serra, permette di aumentare la produttività e il rendimento delle colture e migliorare la resa commerciale di moltissime specie orticole e floricole, accelerando i cicli colturali, favorendo la programmazione e la diversificazione delle colture su un'area di coltivazione limitata. Pertanto, questi sistemi di coltivazione intensivi sono spesso considerati settori produttivi a elevato impatto ambientale, ricorrendo spesso a un uso intensivo di prodotti chimici per la nutrizione e regolazione della crescita delle colture, della risorsa idrica per l'irrigazione, dei combustibili per il riscaldamento delle serre e di materiali non rinnovabili per la copertura degli ambienti di coltivazione e l'allevamento in contenitore.

Per massimizzare la crescita delle piante e ridurre i tempi di produzione, la produzione in serra di ortaggi e di colture floricole si avvale di quantità elevate di fertilizzanti. Un'eccessiva fertilizzazione nelle serre con coltivazione su suolo, dovuta soprattutto a un elevato apporto di azoto, può causare una crescita vegetativa eccessiva, e una maggiore suscettibilità agli attacchi patogeni che porta in definitiva allo scadimento qualitativo del prodotto (Liebman & Davis, 2000). Negli ortaggi da foglia, l'effetto prevalente dell'eccesso di azoto è spesso rappresentato da un accumulo di nitrati nella parte edibile (le foglie) con livelli superiori ai limiti imposti dalla normativa UE n. 1258/2011 (Alberici et al., 2008; Cavaiuolo & Ferrante, 2014) con conseguenti potenziali effetti negativi sulla salute delle persone e degli animali (Luo et al., 2006; Parks et al., 2008; Cavaiuolo & Ferrante, 2014). Apporti azotati troppo elevati possono causare l'inquinamento delle falde e dei corpi idrici superficiali (acidificazione ed eutrofizzazione) e possono aumentare le emissioni di gas

serra di protossido di azoto, con ripercussioni negative sull'ambiente. Nel comparto di produzione florovivaistico italiano, che va dal fiore alla fronda recisa, dalla pianta da vaso (verde o fiorita) alla pianta da esterno e talee, l'elevata qualità rappresenta l'elemento trainante per la penetrazione nei mercati e conseguente successo commerciale. La qualità di questi prodotti ornamentali è essenzialmente definita dalle caratteristiche estetiche del prodotto e dalla loro capacità di conservarle (longevità/durata). Tuttavia, per raggiungere gli elevati standard qualitativi e preservarli durante le varie fasi della catena produttiva si ricorre a un elevato uso di input chimici per evitare l'insorgenza di alterazioni fisiologiche legate alla nutrizione minerale durante la coltivazione o indotte da condizioni ambientali subottimali durante la filiera post-produzione/-raccolta (buio, temperature e umidità relativa, attacchi di patogeni, ecc.).

Adottare tecniche di coltivazione che migliorano la sostenibilità delle produzioni in coltura protetta rappresenta oggi un'urgente necessità sia a seguito di normative comunitarie in materia agricola sempre più stringenti, che esortano a massimizzare una gestione ecocompatibile delle risorse e di ridotto impatto ambientale, sia per soddisfare le richieste espresse da un consumatore sempre più consapevole e attento alle problematiche ambientali. Negli ultimi decenni sono state proposte diverse linee strategiche per migliorare la sostenibilità delle produzioni in coltura protetta mediante l'introduzione di soluzioni/innovazioni tecnologiche, focalizzate sull'efficienza d'uso delle risorse (acqua, fertilizzanti, fitofarmaci) con il fine di minimizzare i carichi inquinanti di fertilizzanti e fitofarmaci e ottimizzare l'utilizzo sostenibile dell'acqua (De Pascale et al., 2006) garantendo un migliore adattamento di questi sistemi produttivi ai cambiamenti climatici. Un approccio promettente e sostenibile è rappresentato dall'uso di sostanze e/o composti naturali e microrganismi benefici noti anche come biostimolanti.

I biostimolanti sono mezzi tecnici che in base alle concentrazioni utilizzate si collocano tra i fertilizzanti e i regolatori di crescita. L'ultimo regolamento europeo inerente i fertilizzanti che include anche i biostimolanti è EU n. 1009/2009. In tale regolamento si definiscono i biostimolanti come prodotti, organici o inorganici, contenenti sostanze e/o microrganismi che, applicati alla pianta o alla rizosfera, stimolano la crescita e la produttività della pianta migliorando l'efficienza d'assorbimento e di assimilazione dei nutrienti, la tolleranza a stress abiotici e/o la qualità del prodotto indipendentemente dal loro contenuto in nutrienti (Rouphael e Colla, 2020). In Italia attualmente i biostimolanti rientrano nella categoria merceologica dei "fertilizzanti" e sono regolamentati dal Decreto Legislativo 29 aprile 2010 n. 75 (D.Lgs. 75/2010).



Questi mezzi tecnici innovativi, non sono coinvolti direttamente nella nutrizione delle piante, ma se opportunamente usati, possono aumentare le rese delle colture attivando processi fisiologici e biochimici che portano a un aumento dell'efficienza d'uso delle risorse disponibili come nutrienti e acqua, riducendone quindi l'apporto durante il ciclo colturale, e favorire anche una maggiore resilienza produttiva delle colture agli stress abiotici (termici, salini, acqua, nutrienti). In termini di efficacia agronomica, l'azione dei biostimolanti si ottiene, come già detto, a concentrazioni nettamente inferiori a quelle dei fertilizzanti e superiore a quella dei fitoregolatori di crescita. Svolgono un ruolo di supporto nell'aumentare l'assorbimento dei nutrienti senza però poterli sostituire.

#### CLASSIFICAZIONE DEI BIOSTIMOLANTI IN CATEGORIE

Nel corso degli anni, sono state proposte numerose classificazioni dei biostimolanti sulla base della loro origine, componente principale o modalità di azione (Du Jardin, 2015). In molti Paesi al di fuori dell'Unione Europea tali informazioni devono essere riportate sull'etichetta per poterli così registrare.

In Italia, l'attuale classificazione si basa sulla fonte di materie prime da cui sono stati prodotti i biostimolanti; questa scelta, tuttavia, non fornisce sempre le informazioni corrette sull'attività biologica del prodotto.

In base alle materie prime da cui derivano i biostimolanti sono classificati in questi gruppi principali:

##### *Estratti di alghe e di piante*

Le alghe sono un vasto gruppo di organismi che spaziano da quelle marine microscopiche a quelle multicellulari che possono essere brune, rosse e verdi. Sono un'importante fonte di sostanze nutritive, di composti bioattivi, di sostanza organica e di fertilizzanti. Le alghe sono state utilizzate in agricoltura fin dall'antichità come fertilizzanti, per gli effetti positivi sulle coltivazioni; i loro estratti vengono impiegati in agricoltura come condizionatori del suolo o come biostimolanti vegetali. Sono applicati come trattamenti fogliari e il loro effetto biologico si manifesta con il miglioramento della crescita, la resa delle colture, la qualità dei prodotti e l'aumento della tolleranza agli stress abiotici. Le alghe utilizzate per la produzione di biostimolanti contengono ormoni vegetali come citochinine e auxine o altre sostanze ad azione ormono-simile. I biostimolanti a base di alghe contengono anche molti composti minerali e bioattivi, tra cui polisaccaridi complessi come laminarina, fucoida-

no e alginati. Per quanto riguarda l'origine da piante, i biostimolanti vengono preferenzialmente estratti da piante ricche in metaboliti secondari che sono anche i principali composti bioattivi responsabili dell'attivazione delle risposte fisiologiche delle piante. Ad esempio, l'estratto ottenuto dalla macerazione delle foglie o dei fiori di borragine ha avuto effetti biostimolanti sulla crescita e qualità della lattuga (Bulgari et al., 2017).

#### *Sostanze umiche*

Le sostanze umiche comprendono principalmente acidi umici e fulvici. Sono costituenti naturali della sostanza organica del suolo, risultanti dai processi di decomposizione di piante, animali e microorganismi, ma anche dall'attività metabolica dei microbi del suolo. Trattamenti con sostanze umiche stimolano la crescita e lo sviluppo delle radici delle piante. Questi effetti sono ascrivibili al miglioramento dell'assorbimento di nutrienti e di acqua e a una maggiore tolleranza agli stress ambientali. Non è del tutto chiaro come le sostanze umiche influenzino la fisiologia delle piante. Ciò è dovuto alla complessità molecolare di queste sostanze e all'abbondanza e alla diversità delle risposte delle piante alterate dalla loro applicazione. Gli effetti positivi esercitati da questi complessi aggregati potrebbero essere ascritti all'attività ormonale di alcuni dei loro componenti.

#### *Proteine idrolizzate e composti contenenti azoto*

Gli idrolizzati proteici sono una miscela di composti come aminoacidi, peptidi, polipeptidi e proteine denaturate che possono essere ottenute mediante idrolisi chimica, enzimatica e termica delle proteine. Diverse prove sperimentali hanno messo in evidenza che le applicazioni di idrolizzati proteici, sia di origine animale sia di origine vegetale, possono migliorare la crescita delle colture e la loro tolleranza agli stress abiotici.

#### *Microorganismi*

Questo gruppo comprende principalmente batteri, lieviti e funghi filamentosi. Sono isolati da terreno, piante, e altri materiali organici. Vengono applicati al suolo e possono avere un'azione diretta o indiretta nell'aumentare la produttività delle colture. I microrganismi possono avere un'azione diretta sulla coltura attraverso l'instaurazione di una simbiosi (es. micorrize), oppure indirettamente aumentando la biodisponibilità degli elementi nutritivi per le piante.

#### *Composti inorganici ad azione biostimolante*

Gli elementi chimici che promuovono la crescita delle piante e che possono essere essenziali per tutte le piante sono chiamati elementi ad azione

benefica. I principali elementi benefici sono il selenio e la silice, ma anche il cobalto, l'alluminio e il sodio. Questi elementi sono presenti nei suoli e nelle piante sotto forma di sali inorganici, anche insolubili come la silice amorfa nelle graminacee. Le funzioni benefiche che possono indurre sono costitutive, come il rafforzamento delle pareti cellulari mediante depositi di silice, o transienti ad esempio in seguito all'esposizione a particolari stress abiotici. La definizione di elementi benefici non è quindi limitata alla loro natura chimica, ma deve anche riferirsi ai contesti speciali in cui si possono osservare gli effetti positivi sulla crescita delle piante e sulla risposta allo stress.

#### BIOSTIMOLANTI PER AUMENTARE LA TOLLERANZA AGLI STRESS ABIOTICI

Piante allevate in serra possono essere esposte a diverse tipologie di stress tipici dell'area del Mediterraneo come carenze idrica, salinità e sbalzi termici (alte e basse temperature). I composti bioattivi contenuti nei biostimolanti possono agire direttamente sulla fisiologia delle piante attivando precise vie metaboliche in risposta a stress per aiutare le piante ad adattarsi e superare i momenti più critici e assumere un valore aggiunto per la commercializzazione del prodotto finale (Bulgari et al., 2019).

*Stress idrico.* Lo stress idrico è uno dei più comuni tra gli stress abiotici che si possono avere nelle coltivazioni dell'area Mediterranea. La riduzione della disponibilità di acqua influisce direttamente sull'attività fotosintetica e quindi sulla resa e qualità dei prodotti. I sintomi visibili dello stress idrico sono la perdita di turgore e l'ingiallimento delle foglie dovuto alla degradazione della clorofilla. Il contenuto in clorofilla è, infatti, usato come indicatore affidabile di squilibrio metabolico ed energetico in piante sotto stress idrico.

Alcuni biostimolanti, ottenuti da estratti di alghe, possono aumentare l'accumulo di composti osmoticamente attivi nelle cellule e aumentare la capacità di assorbimento delle piante. I biostimolanti possono aiutare a aumentare l'efficienza d'uso dell'acqua e superare i periodi più critici del ciclo colturale senza determinare un calo di resa e qualità. Tra i composti che vengono accumulati possono esserci diverse sostanze come la prolina, zuccheri alcoli, nitrati e acido abscissico. I biostimolanti amplificano le risposte endogene delle piante e migliorano il bilancio idrico della coltura, riducendo le perdite e aumentando la capacità di assorbimento radicale.

*Stress salino.* Le coltivazioni di alcune aree costiere possono essere soggette a stress salino per l'elevata concentrazione di sali solubili nell'acqua d'irrigazione o nel suolo. Lo stress salino può indurre nelle piante una riduzione della crescita e danni a livello cellulare che possono compromettere la vitalità e produttività. Tali effetti dipendono dall'intensità dello stress e il tempo di esposizione. L'alta concentrazione salina può determinare uno stress osmotico nelle piante per l'elevata concentrazione ionica nel suolo che può portare a una riduzione dell'assorbimento dell'acqua simulando uno stress idrico. I biostimolanti possono alleviare gli effetti della salinità aumentando la tolleranza della coltura tramite l'attivazione di meccanismi endogeni simili a quelli che si possono osservare nelle piante soggette a stress idrico. I biostimolanti possono, infatti, aumentare la concentrazione di prolina, di zuccheri semplici o alcoli, acido abscissico, e aumentare i composti antiossidanti che possono contrastare i danni dovuti all'accumulo dei radicali liberi.

*Stress da alte e basse temperature.* L'abbassamento termico o ritorno di freddo in primavera avanzata è uno dei più pericolosi tra gli stress abiotici perché può compromettere seriamente la produzione. I danni sono ingenti soprattutto per le colture con fioriture precoce, ma danni rilevanti si possono avere anche sui trapianti precoci di melone e pomodoro. Le basse temperature determinano principalmente danni alle membrane cellulari provocando la morte delle piante, nei casi più gravi, o un ritardo nella crescita nei casi più lievi. I biostimolanti possono contrastare la riduzione dello stress da freddo attraverso l'aumento di osmoliti (sostanze osmoticamente attive), di composti antiossidanti e di sostanze di protezione delle membrane citoplasmatiche.

Anche le alte temperature possono creare danni alle colture attraverso un danno alle membrane cellulari. In particolare, si possono avere danni a livello di fosfolipidi di membrana con la perdita della compartimentalizzazione cellulare e disordini metabolici. Le piante rispondono alle alte temperature con un aumento della traspirazione, utile ai fini della termoregolazione. Pertanto, i danni più gravi si riscontrano nelle aree mediterranee dove si possono verificare situazioni di alte temperature associate a condizioni di bassa disponibilità idrica. I biostimolanti che risultano efficaci nell'indurre tolleranza nelle colture possono agire sia sull'aumento della capacità di assorbimento idrico sia sull'accumulo di sostanze protettive delle membrane cellulari.

*Stress da carenze nutrizionali.* Nei sistemi colturali le carenze nutrizionali possono manifestarsi per diversi motivi, sia per errata gestione agronomica sia per condizioni pedologiche avverse (es. pH non ottimali, ecc.). I biostimolanti, aumentando la biomassa radicale, permettono di esplorare un volume di ter-

reno più grande e di avere una maggiore capacità di assorbimento. Infatti, molti biostimolanti sono in grado di aumentare la capacità di assorbimento degli elementi nutritivi anche se presenti in basse concentrazioni. Tutti i biostimolanti che determinano un aumento della biomassa radicale possono essere utilizzati per alleviare gli effetti di carenze nutrizionali non facilmente gestibili attraverso la fertilizzazione.

#### BIOSTIMOLANTI PER LE COLTURE VIVAISTICHE

I biostimolanti possono aumentare la crescita e la resa di molte specie ortoflorovivaistiche incentivando una maggiore capacità di assorbimento dei nutrienti, attività fotosintetica e capacità di radicazione (Massa & Trivellini, 2019). Migliorare l'efficienza nell'uso dei nutrienti così come stimolare lo sviluppo e la performance fotosintetica dell'organismo vegetale sono aspetti di fondamentale importanza per il settore ortoflorovivaistico in quanto consentono una migliore produttività in termini quali-quantitativi e una migliore gestione delle tempistiche di produzione ad esempio attraverso un'accelerazione del ritmo di crescita vegetativo con anticipo della fioritura e conseguente riduzione del ciclo produttivo. Talora, l'uso dei biostimolanti riesce a velocizzare il processo di radicazione delle talee o delle piante micro-propagate, contribuendo alla formazione di piante più vigorose e sane con le caratteristiche genetiche desiderate. Pertanto, un'efficiente capacità di assorbimento e assimilazione dei nutrienti rappresenta una soluzione innovativa e sostenibile per mantenere la produttività delle colture e al tempo stesso ridurre gli input chimici (fertilizzanti in generale e concimi di sintesi) e contenere il consumo dell'acqua di irrigazione senza compromettere gli elevati standard qualitativi desiderati.

#### BIOSTIMOLANTI PER MIGLIORARE LA QUALITÀ POST-RACCOLTA

Numerose sostanze chimiche vengono largamente utilizzate nell'agricoltura moderna al fine di preservare le caratteristiche estetiche dei prodotti ornamentali durante la filiera post-raccolta (stoccaggio, trasporto e giacenza presso il dettagliante). Tuttavia, il loro uso pone problemi ambientali e di salute pubblica. L'uso di trattamenti a base di biostimolanti rappresenta un allettante alternativa ecocompatibile per mantenere la qualità post-raccolta di piante ornamentali, riducendo al contempo l'apporto di prodotti fitochimici di sintesi (Massa & Trivellini, 2019). La qualità estetica dei prodotti floricoli/orna-

mentali durante la post-raccolta (aumento del contenuto in clorofilla e di altri pigmenti come i carotenoidi e aumento della *shelf-life*), può essere migliorata con l'impiego di prodotti biostimolanti attraverso l'attivazione di specifiche vie metaboliche che agiscono proteggendo e stabilizzando le membrane cellulari, alterando il bilancio ormonale (ad es.: stimolazione della sintesi di citochinine) e garantendo il corretto funzionamento della macchina fotosintetica in condizioni di stress post-raccolta. Durante la fase post-raccolta (stoccaggio e trasporto) le piante spesso soffrono per insufficiente disponibilità idrica. I biostimolanti possono aiutare a limitare significativamente le perdite post-raccolta successive, come appassimento e caduta dei fiori dovute essenzialmente alla carenza idrica, migliorando complessivamente la qualità e la longevità del prodotto.

## CONCLUSIONI

I sistemi agricoli sono in continua evoluzione verso strategie colturali a basso input come richiede il rispetto dei principi dello sviluppo sostenibile, tenuto conto anche della pressione esercitata dai cambiamenti climatici e dall'aumento globale della popolazione che le ultime stime ONU valutano a 9,5 miliardi di persone nel 2050. Pertanto, innovazioni e strategie concrete devono essere ideate e adottate con urgenza. L'uso di biostimolanti può avere un grande impatto sui sistemi colturali protetti riducendo la quantità di mezzi tecnici senza ridurre la capacità produttiva delle colture. Sul mercato sono presenti molti biostimolanti; purtroppo, la maggior parte di loro non è stata testata su tutte le colture e mancano indicazioni per la loro applicazione.

Nella tabella 1 sono riportate le principali modalità di azione delle varie sostanze biologiche con azione biostimolante applicate su colture ortive e floricole per migliorare la loro resistenza a stress abiotici, le performance vivaistiche e la qualità post-raccolta in ambiente protetto.

## ABSTRACT

*Biostimulants for greenhouse and nursery crops.* The market for biostimulants is rapidly growing and many companies are expanding their portfolio with the introduction of these products, which are increasingly used to improve the management of crop systems and increase their sustainability. In fact, biostimulants, if properly used, can increase crop yields and quality, reducing fertilizer inputs and increasing plant tolerance against abiotic stresses.

MODALITÀ DI AZIONE	COMPONENTE	
Tolleranza a stress abiotici	Stress idrico	Microorganismi promotori della crescita ( <i>Ascophyllum nodosum</i> ) Estratti di alghe Funghi micorrizici arbuscolari
	Stress salino	Idrolizzati proteici di origine vegetale Microorganismi promotori della crescita ( <i>Azospirillum brasilense</i> ) Funghi micorrizici arbuscolari
	Stress da basse e alte temperature	Estratti di alghe
	Stress da carenze nutrizionali	Funghi micorrizici arbuscolari Sostanze umiche
Performance vivaistiche	Induzione radicale	Sostanze umiche Idrolizzati proteici Microorganismi promotori della crescita
	Biomassa radicale	Sostanze umiche Silicio Microorganismi promotori della crescita
	Migliore efficienza d'uso dei nutrienti	Sostanze umiche Idrolizzati proteici Funghi micorrizici arbuscolari Microorganismi promotori della crescita
	Accelerazione della fioritura	Sostanze umiche Idrolizzati proteici Chitosano Microorganismi promotori della crescita
Qualità post-raccolta	<i>Shelf-life</i>	Sostanze umiche Silicio
	Qualità post-trapianto	Idrolizzati proteici

 Tab. 1 *Principali modalità di azione dei biostimolanti*

## BIBLIOGRAFIA

- ALBERICI A., QUATTRINI E., PENATI M., MARTINETTI L., MARINO GALLINA P., FERRANTE A. (2008): *Effect of the reduction of nutrient solution concentration on leafy vegetables quality grown in floating system*, «Acta Horticulturae», 801, pp. 1167-1176.
- BULGARI R., FRANZONI G., FERRANTE A. (2019): *Biostimulants application in horticultural crops under abiotic stress conditions*, «Agronomy», 9 (6), 306.
- BULGARI R., MORGUTTI S., COCETTA G., NEGRINI N., FARRIS S., CALCANTE A., SPINARDI A., FERRARI E., MIGNANI I., OBERTI R. & FERRANTE A. (2017): *Evaluation of borage extracts as potential biostimulant using a phenomic, agronomic, physiological, and biochemical approach*, «Frontiers in Plant Science», 8, 935.
- CAVAIUOLO M., FERRANTE A. (2014): *Nitrates and glucosinolates as strong determinants of the nutritional quality in rocket leafy salads*, «Nutrients», 6, pp. 519-1538.
- DE PASCALE S., MAGGIO A., BARBIERI G. (2006): *La sostenibilità delle colture protette in ambiente mediterraneo: limiti e prospettive*, «Italus Hortus», 13, pp. 33-48.
- DU JARDIN P. (2015): *Plant biostimulants: definition, concept, main categories and regulation*, «Scientia Horticulturae», 196, pp. 3-14.
- LIEBMAN M., DAVIS A.S. (2000): *Integration of soil, crop and weed management in low-external-input farming systems*, «Weed Research», 40, pp. 27-47.
- LUO J., SUN S., JIA L., CHEN W., SHEN Q. (2006): *The mechanism of nitrate accumulation in pakchoi [Brassica campestris L. spp. chinensis (L.)]*, «Plant Soil», 282, pp. 291-300.
- MASSA D., TRIVELLINI A. (2019): *Applicazione dei biostimolanti nel florovivaismo*, in *Biostimolanti in agricoltura*, Ed. Ferrante A. (Edagricole, Italia), pp. 143-152.
- PARKS S.E., HUETT D.O., CAMPBELL L.C., SPOHR L.J. (2008): *Nitrate and nitrite in Australian leafy vegetables*, «Australian Journal of Agricultural Research», 59, pp. 632-638.
- ROUPHAEL Y. & COLLA G. (2020): *Biostimulants in Agriculture*, «Frontiers in Plant Science», 11.



GIULIANO MOSCA<sup>1</sup>, AMEDEO ALPI<sup>2</sup>, DEBORAH PIOVAN<sup>3</sup>,  
MICHELE PASCA RAIMONDO<sup>4</sup>, PAOLO TESSARI<sup>5</sup>, ANNA LANTE<sup>5</sup>,  
THOMAS R. SINCLAIR<sup>6</sup>

## Le proteine delle leguminose coltivate

<sup>1</sup> Università di Padova, Sezione Nord Est, Accademia dei Georgofili

<sup>2</sup> Sezione Centro Ovest, Accademia dei Georgofili

<sup>3</sup> Imprenditrice agricola, Padova

<sup>4</sup> Sezione Internazionale Bruxelles, Accademia dei Georgofili

<sup>5</sup> Università di Padova

<sup>6</sup> Department of Crop Science North Carolina State University – Raleigh, NC, USA

### INTRODUZIONE

Nell'UE, all'inizio del nuovo millennio, venivano coltivati a colza, girasole e soia circa 4,5 milioni di ettari e la Commissione, sulla base della riduzione degli aiuti previsti da Agenda 2000 per il comparto, prevedeva una contrazione delle superfici di circa 700.000 ettari (in particolare, al 2006, si prevedevano cali del 50% per soia, 12% per colza, 10% per girasole).

Nel nostro Paese le specie oleoproteaginose hanno subito, già a partire dal 2003, una contrazione significativa. Una tale drastica riduzione delle superfici destinabili a semi oleosi ha comportato, sotto il profilo agronomico-ambientale, una insostenibile semplificazione degli avvicendamenti colturali con delle serie ripercussioni sui sistemi colturali tipici del nord Italia.

Al contrario, le misure agro-ambientali, prevedono l'obbligo dell'avvicendamento colturale per le aziende che chiedono di accedere agli aiuti integrativi nell'ambito dei Piani di Sviluppo Rurale. Vale la pena ricordare inoltre che le oleo-proteaginose si adattano molto bene anche in itinerari agronomici *low input*. La soia ad esempio non richiede specifici apporti azotati, mentre altre specie sopportano la riduzione delle lavorazioni del terreno e altre ancora (colza) con i nuovi ibridi, a rapido accrescimento iniziale, sono in grado di assimilare importanti quantità di nitrati preservando la rizosfera dai classici fenomeni di lisciviazione.

L'origine storica della nostra dipendenza commerciale nel comparto delle oleoproteaginose è così sintetizzabile:

- 1960 L'Europa ottiene il diritto di proteggere la sua produzione di cereali attraverso dei prelievi variabili. In cambio, il mercato delle oleaginose è liberalizzato.
- 1973 In un contesto di rialzo dei corsi monetari mondiali, gli USA decidono di bloccare le loro esportazioni di soia. L'Europa fa scattare un piano proteine.
- 1992 Gli accordi di Blair House hanno dato la possibilità all'Europa di creare un aiuto specifico alle oleo-proteaginose. Ma le superfici all'epoca sono state contingentate a 5 milioni di ha e i trituratoristi non dovevano produrre più di 1 milione di tonnellate di coprodotti espresse in equivalente farina di soia.
- 2000-01 L'aiuto specifico riservato alle oleoproteaginose viene soppresso. Le superfici dunque diminuiscono.
- nel 2002 il prezzo mondiale delle farine proteiche è stato prossimo ai 170 €/t, mentre nel marzo 2003 la farina di soia americana sulla piazza di Chicago è stata quotata a 272 €/t. Analoga situazione è stata osservata per le farine argentine e brasiliane.

Verso la metà del primo decennio del nuovo secolo, la valutazione monetaria internazionale, in particolare della soia, si è impennata accentuando i timori degli agricoltori europei che fin da allora si sentivano pesantemente condizionati da un mercato sul quale non avevano alcuna presa. A fronte dei 70 milioni di tonnellate di soia statunitensi, il Brasile allora ne produceva 58 milioni e l'Argentina 36. Esisteva dunque un regime di vero e proprio oligopolio da parte di questi tre Paesi che rappresentavano l'80% delle produzioni mondiali, con la predominanza quasi assoluta degli USA nel settore della triturazione.

Questo sfavorevole scenario ha sempre rappresentato un serio problema per l'Europa, importatrice netta di questo prodotto. Sui 45 milioni di tonnellate di panelli e farine proteiche che ogni anno l'EU-15, nell'intervallo temporale 1995-2004, ha consumato, il 70% veniva prodotto a partire da soia. I due terzi di questi, circa 30 milioni di tonnellate, risultavano essere inoltre d'importazione. In una tale situazione commerciale, sembrava quasi che le risorse proteiche dell'Europa fossero lasciate senza un futuro.

Apparve indispensabile quindi ridurre questo pesante stato di dipendenza, da un lato facendo riacquistare spazio alla coltivazione delle proteaginose, in particolare della soia, che aveva subito una significativa contrazione, e dall'altro, attraverso un'azione di diversificazione delle fonti proteiche vegetali.

Interi segmenti dell'industria alimentare si sono specializzati nella produzione di alimenti contenenti proteina vegetale. Il progresso nella produzio-

ne di integratori a base di soia ha permesso l'ottenimento di prodotti che possiedono funzioni diverse: emulsionanti, leganti, strutturanti. Il successo nell'utilizzo di questi composti vegetali è cresciuto in ragione del loro costo relativamente basso. In soia, sia la componente proteica che altri composti a carattere "nobile", sono apprezzati anche per la loro funzione nutraceutica: ad es., se assunti regolarmente con la dieta, possono prevenire o rallentare alcune patologie oncologiche.

I cosiddetti principi attivi nutraceutici derivano dal metabolismo principale della pianta (proteine) o dal metabolismo secondario come nel caso di isoflavoni e saponine. Oggi la soia va considerata dunque come una vera e propria *biofabbrica* in grado di fornire accanto alle proteine, di elevato valore biologico, e all'olio, anche dei prodotti *nutraceutici* con presunta azione salutistica.

A fronte di un eccesso d'importazione di semi e farine proteiche e di una decrescente disponibilità interna, appare indispensabile mettere a punto una idonea strategia.

#### LA DISPONIBILITÀ EUROPEA DI PROTEINE VEGETALI

La domanda mondiale di proteine vegetali per l'alimentazione umana è in crescita, si prevede che entro il 2050 l'attuale disponibilità non sarà più sufficiente a soddisfare la richiesta. Allo stesso tempo, l'UE è fortemente dipendente dalle importazioni di proteine vegetali per la produzione di mangimi: circa il 70% del fabbisogno europeo è importato, mentre il 60-70% della terra coltivata è già dedicato alla produzione di alimenti per l'allevamento animale. È pertanto comprensibile la ricerca da parte dell'Unione di ogni possibile fonte proteica: da quelle provenienti dal riutilizzo degli scarti e dei residui, correttamente inseriti nella cosiddetta "economia circolare", a quelle provenienti dall'allevamento di insetti, settore ancora agli inizi e per il quale si prevede una decisa crescita nei comparti della mangimistica e nutrizione umana.

Le proteine vegetali utilizzate per la mangimistica provengono in buona parte dalle farine disoleate di piante oleoproteaginose come soia, colza e girasole (circa 26 milioni di tonnellate di proteine grezze), in quantità minore da cereali e in minima parte da legumi (per un totale di circa 18 milioni di tonnellate). Delle farine disoleate utilizzate, il 38% è di origine UE, il resto è importato. L'UE è infatti un produttore di farine, avendo numerosi impianti di disoleazione, ma vale la pena sottolineare che metà delle farine usate sono di soia, seme di cui l'Unione è largamente deficitaria: solo il 5% del seme di soia è di origine europea, il resto è importato principalmente da USA (73%) e

Brasile (21%), in misura minore da Canada e Ucraina. L'UE importa circa il 10% di tutto il seme di soia commercializzato nel mondo.

L'UE produce 32 milioni di tonnellate di farine nei suoi impianti di triturazione e disoleazione, mentre ne importa quasi 25 milioni di tonnellate e il fabbisogno interno supera i 55.

Dato che le farine sono un sottoprodotto della disoleazione è utile guardare anche al mercato degli oli vegetali. L'UE produce 17 Mio di tonnellate di oli di semi (colza, girasole e soia, soprattutto) e ne importa 12, palma e girasole principalmente. Nel suo outlook sul decennio 2020-30, comunque, la Commissione prevede un aumento delle produzioni comunitarie sia per quanto riguarda le oleoproteaginose. In particolare si prevede in aumento la coltivazione di girasole e soia. Qui di seguito le previsioni di produzione di raccolti proteici in t/ha e milioni di tonnellate.

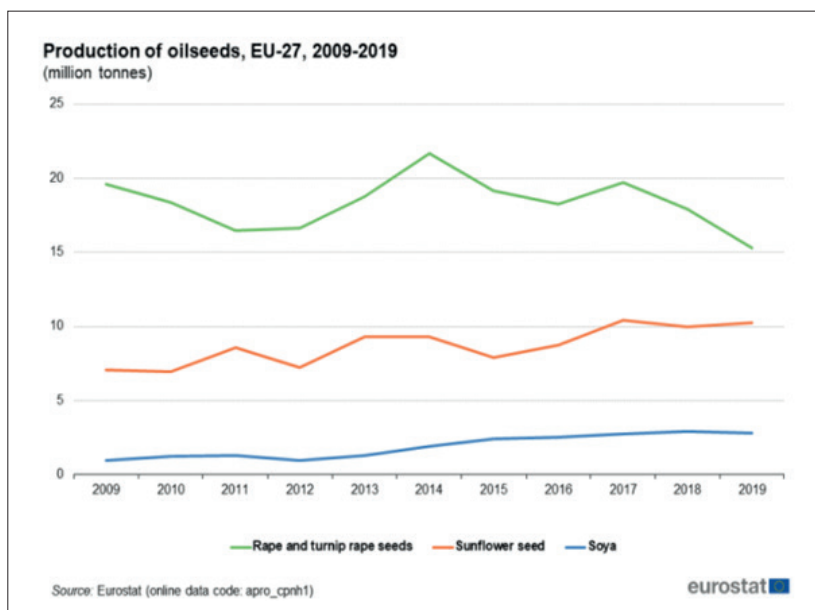


Fig. 1 *Produzione di semi oleosi dell'UE-27, 2009-19, in mln di ton. In verde colza e ravizzone, in arancione girasole, in blu soia*

In questo quadro e all'interno di ogni previsione va però tenuto in considerazione il progressivo calo di terre coltivabili dovuto sia al consumo di suolo per usi civili e industriali, sia alla continua crescita del bosco a discapito delle terre coltivate. Tra il 1990 e il 2020 la superficie boschiva europea è cresciuta

del 10%, in Italia addirittura del 25%, pertanto il nostro Paese ha il 32% del proprio territorio coperto da foreste.

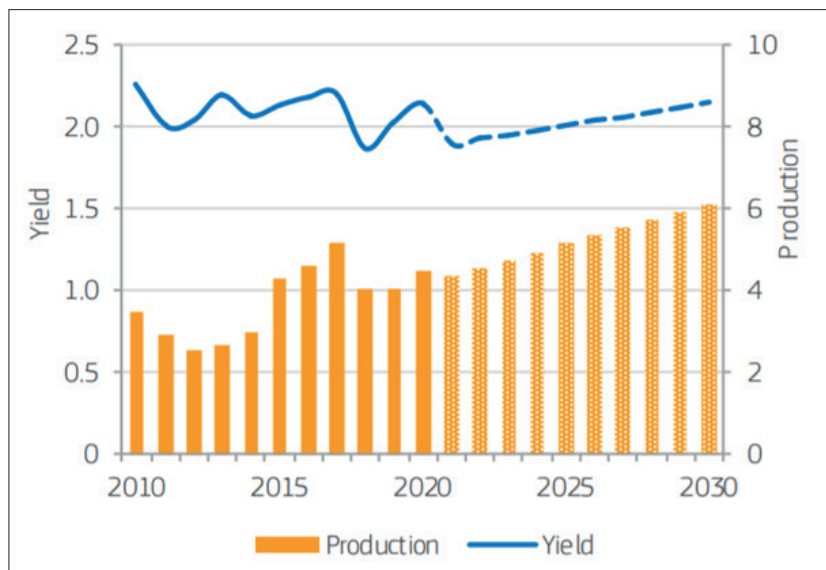


Fig. 2 *Previsione di produzione di raccolti proteici in t/ha e mln di ton.*

È chiaro quindi che l'aumento di produzione non potrà avvenire tramite un aumento delle superfici coltivate, se non a discapito di altre colture; piuttosto è necessario investire nelle innovazioni digitali per l'ottimizzazione dell'uso degli input produttivi, nella ricerca genetica per migliorare l'adattabilità e la produttività delle piante coltivate, e nella continua formazione degli addetti affinché ogni ettaro sia coltivato nel modo più efficiente.

Tale approccio rientra negli obiettivi che la Commissione Europea si sta dando con il *Green Deal* e in particolare con la *Farm to fork* presentata nel maggio 2020, dal momento che con questa strategia la Commissione Europea si è posta alcuni intenti precisi:

- giungere ad avere un impatto neutro sul clima
- contribuire a rallentare il cambiamento climatico e a mitigarne gli effetti
- garantire ai cittadini europei cibo sano, sicuro e sostenibile
- preservare l'accessibilità del cibo garantendo nel contempo un equo ritorno ai produttori.

Per raggiungere questi ambiziosi obiettivi l'accesso alle innovazioni sopra ricordate e la collaborazione con il mondo della ricerca è un punto nodale. Le colture proteiche, le leguminose in particolare data la loro capacità di fissare l'azoto atmosferico, si distinguono per i loro benefici ambientali e rispondono in modo esemplare alle esigenze di sostenibilità richiamate dalla *Farm to fork*. Sono protagoniste insostituibili degli avvicendamenti colturali per motivi agronomici e ambientali, è opportuno quindi che la loro coltivazione sia promossa e stimolata nelle aree più vocate.

L'Unione Europea lavora da diversi anni alla stesura di un Piano Proteico Europeo, con l'obiettivo di aumentare la produzione interna di proteine vegetali e ridurre la dipendenza dalle importazioni.

A questo scopo è auspicabile che tale Piano Proteico venga al più presto ripreso in mano e portato a compimento, anche nelle sue declinazioni nazionali all'interno dei singoli Stati membri.

Il primo punto discusso nel percorso di avvicinamento al Piano proteico è stato quello della ricerca e innovazione, importante per la costituzione di nuove varietà che puntino a migliorare la produttività riducendo i costi colturali. Vi è interesse anche nella possibilità di differenziare le caratteristiche nutritive dei prodotti, in modo da poter rispondere alle diverse esigenze degli utilizzatori, siano essi mangimisti, industrie di trasformazione o consumatori finali. A tale scopo sono state analizzate le richieste dei vari segmenti del mercato di riferimento. Sono state infine analizzate le criticità legate al tentativo di sviluppo del settore, che spaziano dalla competitività delle proteine provenienti da queste colture rispetto alle proteine importate, agli scarsi investimenti in ricerca e sviluppo varietale. Ma come ricordato l'autosufficienza di proteine vegetali è una questione che la Commissione non può trascurare e dovrà senz'altro rimanere nell'agenda dei lavori, a maggior ragione se, come auspicato nella strategia *Farm to Fork*, ci si propone di aumentare il consumo umano di legumi e proteine vegetali e di diminuire il consumo di carne: è ben vero che il minor consumo di carne potrebbe impattare sugli allevamenti zootecnici e quindi sulla richiesta di proteine vegetali per la mangimistica. D'altra parte si sta promuovendo lo sviluppo di filiere mangimistiche basate su proteine animali provenienti da insetti, sia per gli allevamenti ittici che per quelli zootecnici, ma il deficit europeo di proteine vegetali è tale che è raccomandabile l'implementazione di ogni strategia volta a promuoverne la produzione.

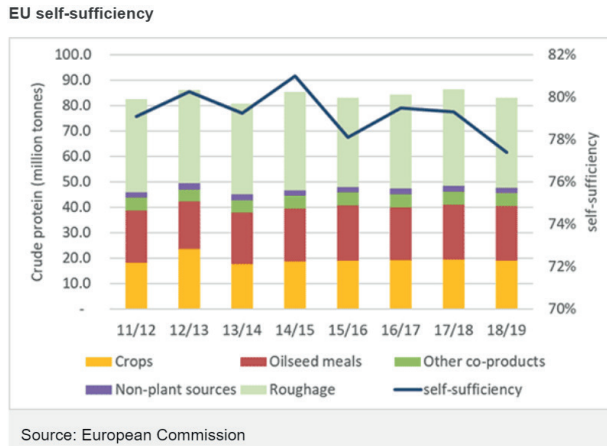


Fig. 3 Percentuale di auto-provvigionamento dell'UE e produzione in mln di ton. In giallo cereali, in rosso farine disoleate, verde scuro altri coprodotti, in viola fonti non vegetali, in verde chiaro foraggi, in blu l'autosufficienza

#### LA DISPONIBILITÀ ITALIANA

Venendo alla situazione italiana, il tasso di auto approvvigionamento per la soia è del 34% nel 2019, in calo del 19% sul 2018, con una produzione appena superiore al milione di tonnellate; il tasso di autoapprovvigionamento è invece del 57% per il girasole.

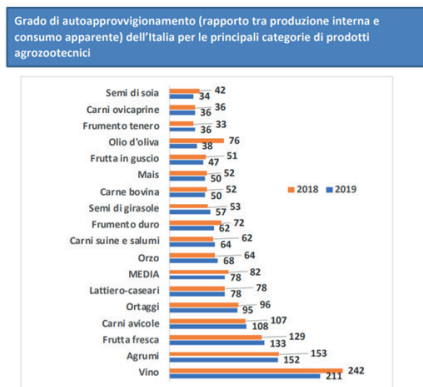


Fig. 4

L'UE produce 2,6 milioni di tonnellate di seme di soia, il 37% dei quali è prodotto in Italia su una superficie oscillante intorno ai 300.000 ettari e con rese medie di 3,7 t/ha. L'Italia è il principale produttore di soia nell'UE.

	16/17	17/18	18/19	19/20	20/21
Dati in 1.000 t, 1.000 ha, t/ha	Istat	Istat	Istat	Istat	Istat
<b>Stock Iniziali</b>					
<b>Area Coltivata</b>	288	322	327	273	256
<b>Rese</b>	3,75	3,16	3,49	3,66	3,77
<b>Produzione</b>	1.081	1.020	1.139	1.001	965

Fig. 5 *Produzione di soia in Italia*

La Commissione Europea prevede per il nostro Paese un aumento del 3% delle superfici investite a soia e del 10% delle rese unitarie, arrivando quindi a 1 Mio di tonnellate di prodotto. Per gli USA le intenzioni di semina per la primavera 2021 prevedono un +5,4% di superficie a soia.

Ciò è ragionevolmente sostenuto anche dai prezzi altissimi raggiunti dalla soia nella campagna di commercializzazione 2020-21, che con tutta probabilità incentiveranno le semine di questa leguminosa per la primavera 2021.



Fig. 6 *In giallo la quotazione a Bologna del seme nazionale non ogm. In blu la quotazione CBOT (Chicago Board of Trade) del seme ogm*



I motivi di tale impennata dei prezzi sono molteplici e vanno ricercati principalmente nei fondamentali di mercato, che hanno visto un pesante calo delle scorte mondiali contemporaneamente a una ripresa degli acquisti di soia da parte della Cina.

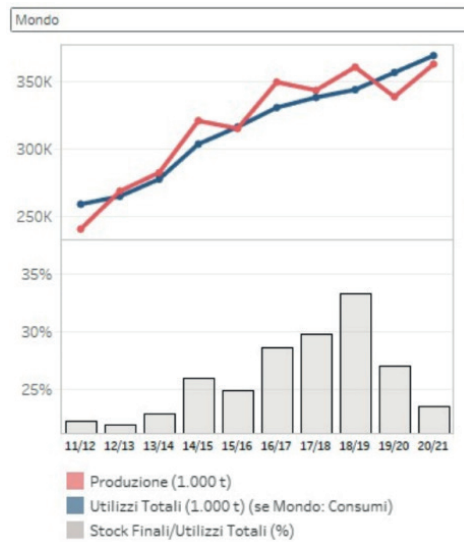


Fig. 7

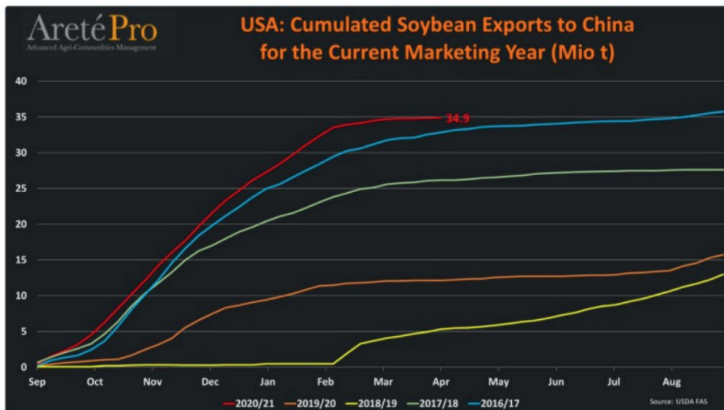


Fig. 8 Esportazioni cumulate da USA a Cina per il corrente anno di commercializzazione, in mln di ton.

## LE UTILIZZAZIONI

Il settore delle piante proteoleaginose ha due principali sbocchi di mercato, in quanto la disoleazione produce olio di semi e farine proteiche. Quest'ultime sono sottoprodotti, o al massimo co-prodotti, della disoleazione. Il prodotto principale è l'olio grezzo il quale, previa raffinazione o meno, ha diversi utilizzi: alimentari, industriali, farmaceutici, zootecnici, energetici (cogenerazione), a seconda delle caratteristiche e delle richieste del mercato. Dall'olio può essere estratta lecitina, un emulsionante destinato all'industria alimentare, farmaceutica, cosmetica o zootecnica.

Il mercato dell'olio di semi, venendo esso utilizzato anche per la produzione di biodiesel, è influenzato dalle quotazioni del petrolio. Anche questo fattore andrà considerato nel valutare le proiezioni di prezzo della soia e quindi le proiezioni di semina.

Le farine disoleate sono ricche di proteine, ne contengono il 43-48%, e sono ciò che residua dall'estrazione dell'olio dal seme con solventi. Sono prevalentemente utilizzate per la produzione di mangimi per gli animali in allevamento (utilizzo *feed*).

La soia integrale contiene il 40-41% di proteina e può essere utilizzata come mangime anche senza passare attraverso un processo di disoleazione. È però raccomandabile che venga preventivamente tostata, oppure che subisca altri trattamenti chimico-fisici che ne denaturino i fattori antinutrizionali (ANF) che potrebbero causare fenomeni di tossicità agli animali allevati. Si tratta di varie sostanze, in particolare inibitori della tripsina e alcaloidi, che interferiscono con il processo digestivo soprattutto nei monogastrici. Il miglioramento genetico ha già portato comunque all'ottenimento di alcune varietà di soia a ridotto contenuto di ANF. Si ricorda che la soia non tostata se impiegata in elevata quantità (es. 4 kg in una bovina che produce 35 litri di latte al giorno) rilascia nel ruminale una elevata quantità di  $\text{NH}_3$  che poi viene riemessa in una certa misura nell'ambiente.

Una frazione minore delle colture proteoleaginose è indirizzata al consumo umano (utilizzo *food*) che è un settore interessante per vari motivi. Innanzi tutto la soia italiana e quella europea sono, a causa della normativa vigente, non ogm e questo appare essere un valore aggiunto per molti consumatori finali. Inoltre il settore della nutrizione vegetariana è in crescita e la soia è una fonte proteica richiesta da questo tipo di mercato. Sarebbe quindi utile lavorare con metodologie di miglioramento genetico per ottenere varietà di soia dalle caratteristiche differenziate in funzione degli utilizzi; si pensi ad esempio alla necessità di valutare il contenuto in fitoestrogeni, in particolare di isoflavoni, molto variabile nelle diverse cultivar di soia (che ne possono contenere

fino a 100 tipi diversi): il loro effetto come protettori nei confronti di alcuni tumori o, al contrario, di promotore nei confronti di altri, è ancora oggetto di studio.

#### LE PROSPETTIVE

L'esperienza della pandemia da Covid19 ha mostrato tutti i limiti e la pericolosità della dipendenza dall'estero per le filiere produttive interne. Se da un lato questo è inevitabile e addirittura utile per favorire gli scambi commerciali tra Paesi e quindi le esportazioni dall'Italia e dall'UE verso Paesi terzi, dall'altro rende precari gli approvvigionamenti di materie prime per i processi produttivi e quindi espone a volatilità di prezzi e incertezze di mercato. Pur ribadendo che non è pensabile che il continente europeo diventi autosufficiente per il proprio fabbisogno di proteine vegetali, è auspicabile mettere in atto ogni misura atta a promuoverne e diffonderne la produzione, dalla ricerca genetica, alla diffusione dell'agricoltura di precisione e del digitale, sino a decisioni di politiche agricole che ne promuovano la coltivazione.

La ricerca internazionale non sta ferma: ogni mese escono numerosi articoli nei quali i ricercatori illustrano i loro lavori di miglioramento genetico su piante coltivate. È recente una pubblicazione sull'uso di intelligenza artificiale in pieno campo ad opera dei selezionatori, per individuare le piante di soia più tolleranti la siccità in modo da poterle poi selezionare e moltiplicare.

È necessario un lavoro di monitoraggio e analisi critica dei principali dossier europei agricoli, in particolar modo quelli derivanti dall'applicazione del Green Deal, come le strategie Farm to Fork e Biodiversità 2030, e della Riforma PAC del 2023. Nello specifico, è la Politica Agricola Comune lo strumento principe per individuare politiche di promozione delle colture proteiche, politiche che vadano dai premi accoppiati alla conferma dell'utilità di queste coltivazioni per il mantenimento della fertilità dei suoli.

Si nota che il mercato italiano della soia, in particolare, si rivolge a un numero esiguo di trasformatori; questo porta talvolta a dinamiche poco elastiche nella fissazione dei prezzi, poco rispondenti alla realtà del mercato, cosa che richiede attenzione da parte di tutte le componenti della filiera. È bene che le politiche stimolino iniziative volte alla costruzione di filiere dedicate, con la costruzione di contratti specifici e dedicati per far emergere il mercato già esistente, in particolare per la soia non ogm, per la filiera zootecnica italiana: la tracciabilità del prodotto è un utile strumento per la materia prima destinata alla produzione delle eccellenze alimentari che si vogliano fregiare di denominazione di origine protetta e indicazione geografica di provenienza. È poi

possibile pensare a un mercato ad hoc per la soia italiana a uso alimentare, non più una commodity ma una *specialty* per diete e regimi alimentari emergenti, garantendo ai produttori stabilità di profitto e adeguata remunerazione.

#### LE PROTEAGINOSE COLTIVABILI

Le proteaginose sono colture industriali i cui prodotti sono principalmente destinati alla produzione di alimenti per l'uomo e mangimi ad alto tenore proteico per gli animali allevati. I principali vantaggi agronomici delle leguminose sono rappresentati dalla possibilità di migliorare l'ordinamento produttivo stimolando l'avvicendamento tra colture sfruttatrici e colture da rinnovo tramite l'interruzione della omosuccessione di un singolo cereale e comportando anche dei benefici ambientali quali:

- miglioramento della struttura e della fertilità del suolo;
- riduzione dell'impiego degli agrofarmaci, quelli che si riducono maggiormente sono gli input chimici, se poi parliamo di soia il costo del diserbo è di molto superiore a quello del mais, l'avvicendamento limita la formazione di infestanti resistenti;
- limitazione dei rischi di depauperamento della sostanza organica a causa degli eccessivi "disturbi" provocati al terreno;
- maggiore facilità nella preparazione del letto di semina dato l'accennato miglioramento della struttura.

Infine queste colture possono essere definite strategiche anche per il nostro Paese. Come già ricordato siamo infatti fortemente deficitarii di proteine vegetali, tanto che siamo costretti a importarle per gran parte del nostro fabbisogno.

Queste colture forniscono un reddito adeguato?

Dal punto di vista economico queste colture quanto rendono all'agricoltore? Le leguminose da granella presentano dei redditi lordi mediamente inferiori ai cereali, anche se ci sono forti differenze a seconda degli areali di produzione e alle specie coltivate; per esempio cece e lenticchia, che hanno come destinazione il consumo umano diretto, sono molto più remunerative di altre specie, così come le leguminose destinate al mercato biologico.

I bilanci vanno impostati considerando anche i positivi effetti prodotti sulle colture che seguono la leguminosa nell'avvicendamento. Se tuttavia il puro e semplice bilancio economico tra costi e ricavi è prossimo al pareggio, l'agricoltore dovrebbe considerare queste colture a livello pluriennale, tenen-

do conto dell'avvicendamento ad esempio con i cereali: allora i conti cambiano. Infatti le specie proteiche assicurano un risultato economico accettabile se si tiene conto dei migliori risultati economici che si ottengono dalle colture cerealicole che seguono nell'avvicendamento. Inoltre, non c'è alcun dubbio che, applicando l'innovazione tecnologica nei percorsi agronomici mirati, si possono migliorare le rese delle proteaginose, scegliendo le varietà più adatte all'ambiente di coltivazione. In conclusione, grazie alla nuova Pac, le leguminose da granella sono tornate a destare un certo interesse da parte degli agricoltori e questa occasione non deve essere sprecata.

#### IL RUOLO DELLE LEGUMINOSE NEL CONTENIMENTO DEI CONSUMI AGRICOLI DI ENERGIA FOSSILE E DELL'EFFETTO SERRA

Nei vegetali non sempre l'invasione da parte di batteri e funghi dà luogo a uno stato di malattia. In molti casi la presenza dei microrganismi è benefica, come nel caso di specifici batteri, che si insediano nelle cellule radicali di specie vegetali leguminose, oppure di funghi micorrizici. Attraverso un'essenziale rifornimento di nutrienti, i microrganismi aiutano sia le piante ospiti che le colture in avvicendamento, se non addirittura gli interi sistemi agricoli. In certe interazioni simbiotiche, le radici sono infettate da funghi micorrizici che collaborano con i vegetali superiori nell'acquisizione del fosforo dal terreno. In altre simbiosi, i rizobi alloggiano nelle radici delle leguminose dove producono la forma di azoto necessaria per l'accrescimento. Di recente genetisti, biochimici e agronomi hanno cominciato a conoscere a fondo i geni da cui dipende l'instaurarsi di queste reciproche interrelazioni. È stato accertato che sia i geni della pianta che quelli dei microrganismi contribuiscono alla simbiosi. I due partner sono infatti coinvolti in una complessa "conversazione" a livello molecolare. Le simbiosi "fungo-pianta" si sono instaurate ben prima delle associazioni "rizobio-leguminosa". La presenza di funghi utili in piante fossili indica che le prime associazioni risalgono a circa 400 milioni di anni fa e cioè prima della comparsa delle leguminose. Nell'instaurarsi di questo dialogo, le piante "parlano" per prime, inviando segnali molecolari al batterio specifico necessario per la loro interazione simbiotica. La condizione per la quale diverse leguminose producono differenti messaggi biochimici (flavonoidi) contribuisce a generare una diversa specificità d'azione simbiotica. Pertanto, una volta che le specificità sono state rispettate, la simbiosi si può attivare e la "conversazione" può continuare. Questo tipo di pianta riesce a utilizzare l'azoto atmosferico, che rappresenta una risorsa rinnovabile, attraverso la formazione di noduli entro i quali vengono ospitati i micro-simbionti radicali

più o meno specifici, i rizobi. La fissazione biologica dell'azoto è un processo efficiente e, su ampia scala, la produzione di ammonio da parte della simbiosi "*Rhizobium-leguminosa*" risulta più elevata della produzione industriale degli azotati di sintesi.

Impiegando i concimi azotati consumiamo energia fossile: è richiesto l'equivalente di due tonnellate di petrolio (in energia) per produrre e spargere una tonnellata di concime azotato. L'impiego invece di azoto biologico, come quello fissato dalle Leguminose per produrre proteine vegetali, consente notevoli risparmi nei consumi di energia non rinnovabile e di conseguenza fa diminuire il contributo dell'agricoltura all'effetto serra. La coltivazione di una leguminosa porta ad economizzare circa 0,2 t/ha di petrolio che equivalgono alla produzione di 600 kg/ha di CO<sub>2</sub>. Le leguminose sono dunque uno dei pilastri su cui poggia lo sviluppo sostenibile dei sistemi agricoli. È stato stimato che il 20-30% dei costi energetici necessari alla coltivazione delle piante è assorbito dalla produzione e distribuzione in campo degli azotati. Non va dimenticato infine che le leguminose promuovono diversità ed efficienza agli avvicendamenti colturali e contribuiscono significativamente al sostegno della fertilità del terreno agrario. Le leguminose inoltre concorrono alla salubrità del cibo in generale e fanno parte integrante della cosiddetta "dieta mediterranea", anche se oggi risultano ancora sotto rappresentate nell'ambito dell'agricoltura europea e meritano invece, in rapporto agli innumerevoli vantaggi offerti, un ulteriore sviluppo.

#### UN NUOVO APPROCCIO PER VALUTARE L'IMPRONTA AMBIENTALE DELLA PRODUZIONE DI ALIMENTI VEGETALI E ANIMALI

La FAO ha recentemente stimato che circa il 15% della popolazione mondiale è cronicamente affamata e che ancora di più soffre di inadeguatezza nutrizionale. Circa 1 miliardo di persone deve affrontare un apporto proteico inadeguato, che causa una serie di carenze nutrizionali, crescita ridotta, cattiva salute ecc. In prospettiva, entro il 2050, sarà richiesto circa il 70-100% di cibo in più rispetto a quello prodotto oggi. Ciò comporta che nel prossimo futuro si incrementi sia la domanda di terra che l'efficienza nel sistema di produzione alimentare e/o una riconsiderazione delle abitudini alimentari nella prospettiva delle esigenze umane. A questo proposito, l'impronta ambientale della produzione di alimenti per animali è considerata molte volte maggiore di quella della coltivazione delle colture. Pertanto, la scelta tra diete animali e vegetariane può avere un impatto ambientale rilevante. In tali confronti, tuttavia, un problema spesso trascurato è il valore nutrizionale degli alimenti.

Le precedenti stime dell'impronta ambientale dei nutrienti si erano basate principalmente sul peso grezzo del cibo o sul contenuto calorico, non rispetto al fabbisogno umano. Inoltre, mentre il contenuto proteico totale dei vari alimenti è stato effettivamente considerato, non così è stato fatto per i loro valori nutrizionali in termini di Amminoacidi Essenziali (EAA). Poiché questi componenti sono parametri chiave nella valutazione della qualità degli alimenti, l'impronta ambientale, espressa sia come uso del suolo per la produzione che come emissione di gas serra (GHGE) di alcuni alimenti animali e vegetali, può essere rivalutata sulla base delle quantità di EAA rispetto al loro fabbisogno della dieta umana. In generale, il valore nutritivo delle proteine vegetali è inferiore a quello delle proteine animali, perché le prime hanno un contenuto di EAA carente e/o sbilanciato. Potrebbe essere un po' più difficile garantire la dose giornaliera raccomandata (RDA) di tutti gli EAA utilizzando solo un'alimentazione vegetale, piuttosto che animale o mista vegetale/animale. In altre parole, un individuo avrebbe bisogno di mangiare più proteine vegetali per ottenere lo stesso livello di nutrizione offerto da quelle animali. Pertanto, poiché la produzione di proteine di entrambe le fonti ha un'impronta ambientale rilevante e differenziale, il consumo e/o la progettazione di diete adeguate per proteine alimentari e EAA, da fonti diverse, richiedono una accurata misura dell'impronta ecologica. La produzione di proteine animali di alta qualità, in quantità sufficienti per eguagliare le dosi giornaliere raccomandate di tutti gli EAA, richiederebbe un uso del suolo e un GHGE approssimativamente uguale a quello necessario per produrre proteine vegetali, ad eccezione dei semi di soia, che hanno mostrato l'impronta più piccola. In conclusione, questo nuovo approccio ridimensiona la comune affermazione che l'uso delle piante avrebbe un forte vantaggio rispetto all'impiego di alimenti animali, proprio in virtù delle considerazioni circa gli EAA.

#### QUALI SPECIE VEGETALI CONSIDERARE?

Le leguminose da granella sono dotate di buone quantità di proteine nel seme a cui si aggiunge talvolta dell'amido e/o una certa quantità di lipidi e fibra facilmente digeribile.

CECE (*Cicer arietinum*). Tra le piante di più antica coltivazione nella Mezzaluna fertile, il cece ha contribuito all'evoluzione e al progresso dell'agricoltura fin dalle sue origini, circa 12.000-10.000 anni fa. Nelle condizioni del sud d'Italia la resa non supera le 1,5-1,8 t/ha di granella. La composizione media del seme è la seguente: 21% proteina grezza, 5% lipidi grezzi, 47% zuccheri

disponibili, di cui 39% amido e 14% fibra totale. Tale composizione rende i semi di cece particolarmente adatti alla alimentazione umana. Le principali filiere produttive del cece riguardano i seguenti usi:

- *per alimentazione umana*: granella secca, precotti da inscatolamento, preparati alimentari previa molitura
- *per uso zootecnico*: consumo diretto, formulati mangimistici (produzione di scarto).

FAGIOLO (*Phaseolus vulgaris*). Originario delle Americhe, giunse in Europa con la “scoperta” di Colombo. Come fava e lenticchia è ricco in carboidrati (48%) e proteine (24%) e povero in grassi (2%). Il profilo proteico è in linea con altri legumi della tradizione mediterranea; ottima la quantità ma “solo” buona la qualità poiché, come quasi tutte le proteine vegetali, lo spettro aminoacidico è incompleto, a causa dello scarso contenuto in aminoacidi solforati (metionina e cisteina). Tra i fattori antinutrizionali riguardanti il fagiolo sono da menzionare:

- lectine, potenziale causa di emoagglutinazione;
- saponine, potenziale causa di emolisi;
- inibitori delle proteasi, che riducono digestione ed assorbimento delle proteine;
- acido fitico, in grado di ridurre l'assorbimento di alcuni minerali.

Nel caso del fagiolo, è la fitoemoagglutinina il fattore antinutrizionale più caratterizzante presente soprattutto nei fagioli rossi. A seguito di una abbondante alimentazione di questi legumi, può presentarsi il fenomeno della flatulenza di cui i principali responsabili sono gli oligosaccaridi raffinose, stachiose e verbascose, indigeribili nella prima parte dell'intestino umano a causa dell'assenza dell'enzima  $\alpha$ -galattosidasi ma metabolizzabili, nell'ultimo tratto intestinale, ad opera di batteri, causando tuttavia meteorismo e flatulenza.

FAVA (*Vicia faba* var. *major*) e FAVINO (*Vicia faba* var. *minor*). La fava, assieme al cece, è considerata una delle piante più anticamente coltivate dall'uomo, da sempre utilizzata come fonte di proteine nella alimentazione umana, come foraggio per gli animali domestici e come pianta da sovescio. Probabilmente già durante il primo millennio d.C., la coltura si è diffusa dal vicino Oriente verso l'Europa centrale e la Russia, attraverso l'Anatolia, la valle del Danubio e il Caucaso; nelle regioni del Mediterraneo orientale, attraverso la costa mediterranea e le isole; dall'Egitto e dalla costa araba in Abissinia e attra-



verso la Mesopotamia in India e in Cina. La composizione media del seme di fava secco è la seguente: 25% di proteina grezza, 3% di lipidi grezzi, 54% di zuccheri disponibili di cui il 44% è amido, 7% di fibra totale. La produzione di granella di 19-20 q/ha (media italiana) si ottiene, con semina autunnale, in coltura asciutta nell'ambiente mediterraneo semiarido. Al nord la semina deve essere, gioco forza, primaverile dato che la fava non resiste alle gelate e alle basse temperature in generale. Il favino si distingue dalla fava per presentare i baccelli eretti mentre la fava li porta per lo più penduli, visto il loro peso e le dimensioni. Altri due caratteri distintivi sono rappresentati dalla fertilità del baccello e dalla dimensione e peso del seme. Con le più recenti varietà francesi si dovrebbe arrivare alle 3-4 t/ha di granella.

**LENTICCHIA** (*Lens culinaris*). Assieme ad alcuni cereali a paglia e altre leguminose da granella (cece e pisello) è una delle specie che hanno fondato l'agricoltura del neolitico, essendo stata domesticata nell'areale della Mezzaluna fertile. Il seme di lenticchia contiene il 22% di proteina grezza, non contiene lipidi, il 55% di zuccheri disponibili di cui il 44% è rappresentato dall'amido e il 13% di fibra grezza parzialmente digeribile. La resa media nazionale risulta di circa 0,8-0,9 t/ha di granella; nelle migliori condizioni ambientali e di gestione della coltura, comunque, la resa può superare le 2 t/ha.

**PISELLO** (*Pisum sativum*). Si fa qui riferimento solo al *pisello proteico* che si distingue da quello orticolo-industriale per presentare un contenuto di proteina grezza del seme oscillante tra il 26 e il 29%, di fibra grezza tra il 6 e l'8% e il 46-50% di amido. Il *breeding* ormai da vari anni ha generato delle nuove forme di pisello tra cui merita ricordare la forma *leafless* (tipo afile: senza foglie) affidando, come una specie di vicarianza fisiologica, al fusto, ai numerosi cirri o viticci e ai baccelli il ruolo primario fotosintetico. Allo scopo di eliminare l'allettamento, un ineludibile difetto delle precedenti cv di pisello, i cirri (foglie metamorfosate) sono stati vistosamente incrementati al fine di migliorare la capacità della pianta di stare eretta per quasi tutto il ciclo colturale. Con le migliori varietà e in condizioni ambientali ottimali si possono produrre fino a 4 t/ha di granella.

Le colture proteoleginose sono dotate di una importante concentrazione di proteine accanto ad una buona disponibilità di lipidi e limitate quantità di fibra digeribile. A questo gruppo appartengono l'arachide, la soia, il lupino. Nel prosieguo del testo verrà data particolare rilevanza alla soia in quanto si dimostra la più ricca in proteina nobile e, come tale, è la leguminosa più coltivata nel mondo.

ARACHIDE (*Arachis hypogaea*). Oleaginosa annuale, è originaria delle aree tropicali del Sud America (Brasile, Perù) da dove si è diffusa in Nord America (Messico, Georgia, Sud Carolina) e poi in Europa (Spagna); in seguito si è diffusa in Africa e Asia, per lo più nelle aree temperato-calde. La composizione del seme, che rappresenta in peso dal 55 al 70% dei legumi, è costituita da: 45-50% di lipidi, 25-30% di proteine, 12% di carboidrati, 10% di acqua e 3% di ceneri; dopo l'estrazione dell'olio, il pannello, grazie al suo elevato contenuto proteico (circa il 50%) rappresenta un ottimo alimento zootecnico. Entro specie sono presenti due *sub-species* e cinque *varietas* di arachide: *Subsp. hypogaea* e *fastigata*. A loro volta, la prima subspecie si articola in *Var. hypogaea* e *hirsuta* mentre la seconda in *peruviana*, *aequatoriana* e *vulgaris*.

SOIA (*Glycine max*). È originaria dell'Asia orientale. Il seme contiene in media il 35-45% di proteina grezza, 18-21% lipidi grezzi, 6,5% di fibra. In Italia si coltiva per il 90% in Valle Padana con dei risultati produttivi che si aggirano tra le 3,5 e le 4,5 t/ha di granella. Le forme a seme verde sono per uso orticolo e possono raggiungere anche il 50% di proteina grezza. Di norma il seme preferito dall'industria olearia presenta il tegumento seminale di colore giallo e l'ilo incolore al fine di evitare l'intorbidimento dell'olio dovuto alla presenza di un ilo pigmentato. Le varietà in base alla precocità vengono classificate in 13 gruppi di maturazione. Quelli più precoci sono indicati con 000, 00, 0 rispettivamente. Seguono poi i gruppi dall'I al X, indicati secondo la numerazione romana. In base alla risposta al fotoperiodo le varietà più precoci sono da considerare indifferenti al fotoperiodo, mentre le medie e le tardive sono brevidiurne. Fioriscono cioè solo in regime di fotoperiodo decrescente.

LUPINO (*Lupinus albus*). Pianta molto antica, è originaria del Medio Oriente e dell'areale Mediterraneo. Il seme contiene il 17-18% di proteine, il 7% di carboidrati e il restante 6,5% diviso tra fibre e grassi. Produzioni medie pari a 2,5-3,5 t/ha di seme. Tra i vari componenti del lupino, gli alcaloidi rivestono sicuramente un ruolo importante: si tratta di lupo-tossina, lupanina ed oscilupanina. Al fine di rendere commestibili i lupini, è necessaria una salamoia, utile per "estrarre" dal seme gli alcaloidi amari e tossici. I lupini devono essere consumati previa cottura per eliminare la lupo-tossina, termolabile.

### *Le principali specie foraggiere*

In questo gruppo di piante compaiono ancora le leguminose. Tra queste, l'erba medica e i trifogli hanno una particolare rilevanza. Sono specie per lo più

poliennali che ripartiscono la loro produzione nell'arco dell'anno in più sfalci (4-5 tagli per *Medicago sativa* e *Trifolium repens* ma non per gli altri trifogli) di diversa capacità produttiva e composizione qualitativa. La proteina nel foraggio è presente soprattutto a livello fogliare (foglie trifogliate) e nei piccioli, pertanto al momento del taglio e durante la successiva fienagione dette strutture vanno rispettate e conservate con cura. Sono specie adatte a formare prati monofiti (medicaio) ma possono adattarsi anche a produrre in consociazione (c. bifite o polifite) con altre specie non leguminose, quali le graminacee ad esempio (dattile, festuca ecc.) ottenendo un doppio risultato produttivo e qualitativo. Oltre alle due specie vengono ricordate anche: lupolina, lupinella, sulla, ginestrino, antillide. Decisamente meno diffuse e quindi meno importanti come fornitrici di proteina.

**ERBA MEDICA** (*Medicago sativa*). È originaria dell'Asia Sud occidentale ed è la foraggera per eccellenza caratterizzata da produttività, longevità, capacità di ricaccio, buona attitudine alla conservazione, valore nutritivo e attività para-nutraceutica, dato il contenuto in fibra neutro deterosa che oggi la fa preferire nell'alimentazione della vacca da latte ad alta produzione assieme al silo mais. Accanto agli immancabili effetti positivi di avvicendamento. Il prato di medica produce nell'arco di 3-4 anni che in condizioni favorevoli possono anche aumentare fino a 5. Il medicaio in purezza fornisce un foraggio contenente il 16-17% di proteina grezza con una produzione complessiva, negli anni di durata del prato, di circa 30-40 t/ha di fieno. Il foraggio può essere ottenuto per fienagione, per insilamento o in forma disidratata. In quest'ultimo caso la farina che si ottiene rappresenta un vero e proprio alimento concentrato. A fronte degli elevati costi dei prodotti petroliferi, l'eccessivo costo energetico del processo di disidratazione ha di gran lunga ridotto questa possibilità di utilizzazione. Tuttavia se applichiamo la LCA (*Life Cycle Assessment*) la disidratazione è da preferire specie quando invece di falciare a "inizio fioritura" si interviene al "bottone bleu": in questo caso si può arrivare al 20% di PG (Proteina Grezza). L'erba medica che importiamo ad esempio dall'Andalusia presenta queste caratteristiche.

**TRIFOGLI** (*Trifolium pratense*, *T. repens*, *T. hybridum*, *T. subterraneum*,...). Il trifoglio pratense o violetto è il più diffuso sia in Europa che nel resto del mondo. Specie poliennale, ma di durata limitata, è più tollerante del medicaio nei riguardi del pH del terreno (6,5-7,6). La produzione si aggira sulle 7-14 t/ha di sostanza secca nel biennio di utilizzazione. Per le aree mediterranee merita fare cenno anche di altre specie annuali quali il *T. alexandrinum* e il *T. squarrosum*. Da sottolineare che il *T. subterraneum* e il *T. brachialicinum* sono

adatti per il pascolamento ma non per lo sfalcio e la conservazione mentre il *Trifolium repens* non è adatto per l'attuale alimentazione del bestiame.

#### LA BIOFABBRICA SOIA

Le proteine vegetali sono dunque le sostanze nelle quali – nel caso delle specie leguminose – viene prevalentemente immagazzinato l'azoto atmosferico fissato tramite l'intervento di rizobi più o meno specifici. Nella soia il contenuto proteico del seme normalmente oscilla tra il 36 e il 45%. È comunque opportuno tenere presente anche il contenuto in aminoacidi essenziali come nel caso dell'utilizzo in mangimistica. Sin dagli anni '60 i derivati della soia sono stati usati in diversi tipi di prodotti che appartengono sia al segmento mangimistico che a quello dell'alimentazione umana. La ricerca agraria negli ultimi decenni ha ottenuto colture cerealicole in grado di fornire semi in quantità e qualità tali da costituire l'alimento di base ed economicamente conveniente, molto utile per una popolazione globale in continua crescita; similmente la soia può considerarsi il migliore integratore proteico dei cereali nell'utilizzo zootecnico ma lo sarà sempre di più (tramite opportune lavorazioni) anche nell'alimentazione umana. Si sottolinea la complementarietà tra i cereali poveri di lisina e triptofano e ricchi di aminoacidi solforati e la soia invece ricca in lisina e triptofano e povera in cistina, cisteina e metionina, tutti aminoacidi essenziali specie per i monogastrici. Attualmente la proteina di soia è la più versatile rispetto a tutte le altre forme proteiche considerate nei programmi mondiali di nutrizione e rappresenta una fonte di elevato valore biologico. Il progresso nella tecnologia di produzione di integratori a base di soia ha permesso l'ottenimento di prodotti che posseggono funzioni diverse: emulsionanti, leganti, strutturanti. L'elevato valore nutrizionale dei prodotti contenenti proteina di soia è stato recentemente riconosciuto dalla US Food and Drug Administration e dall'USDA-FNS (*National School Lunch Program*). Nella soia, le proteine, assieme ad altri tipi di composti a carattere "nobile", sono studiate anche per la loro funzione nutraceutica, ovvero per la proprietà che presentano, se assunti regolarmente nella dieta, come già ricordato, di prevenire e/o rallentare alcuni tipi di patologie. La ricerca tuttavia dovrebbe accertare in via definitiva questa effettiva capacità. Nella soia si rinvencono anche altre sostanze, gli inibitori della tripsina – composti antinutrizionali – che hanno un effetto negativo sul metabolismo. Queste sostanze termolabili sono presenti nel seme di soia (germe e cotiledone) nonché in tutti i prodotti di lavorazione della semente precedentemente illustrati, con concentrazione diversa in funzione del tipo di lavorazione subita.

## LE PROTEINE E I FATTORI ANTINUTRIZIONALI

Da alcune indagini statistiche è emerso che l'incidenza delle malattie cardiovascolari (ad es. arteriosclerosi) è minore nei Paesi orientali (Giappone) che in Occidente. Le peculiarità nel regime alimentare e, in particolare, nel consumo di prodotti a base di soia potrebbero spiegare, almeno in parte, questa differenza. Le proteine della soia hanno un basso contenuto di metionina e cisteina. Fra le sostanze proteiche, gli antinutrizionali sono di diversa natura, i più importanti dei quali sono gli inibitori di Kunitz e di Boman Birk, oltre alle lectine. I Fattori di Kunitz e di Bowman Birk hanno un'azione inibente nei confronti di alcuni enzimi della digestione (proteasi) e possono provocare fenomeni di cattivo assorbimento dei principi nutritivi e una conseguente diminuzione del valore biologico delle proteine di soia. Le lectine, invece, interferiscono con l'assorbimento di nutrienti interagendo con la mucosa gastrica. Si tratta di sostanze che si combinano con i carboidrati delle membrane cellulari (mucosa gastrica e intestinale), ostacolando in tal modo l'assorbimento dei nutrienti; si legano inoltre alle cellule del sangue determinando agglutinazione delle emazie. La loro concentrazione, varia in funzione del genotipo considerato. L'azione di tali fattori proteici è annullata dal trattamento termico della proteina. Da un punto di vista fisiologico, il tenore in proteine del seme è condizionato da un complesso meccanismo di sintesi, assemblaggio, trasporto e stoccaggio delle proteine all'interno del seme. L'azoto, elemento indispensabile per la formazione delle proteine, può essere variamente recuperato, dalla pianta di soia, come viene indicato nei tre punti seguenti:

- la rilocalizzazione dell'azoto dai fusti e dalle foglie verso le strutture riproduttive;
- l'assimilazione diretta derivante dalla simbiosi può prolungarsi più o meno nel corso del ciclo riproduttivo;
- l'assorbimento tardivo dell'azoto nitrico dal suolo (la seconda via di alimentazione azotata della specie).

Le differenze nel tenore proteico, che sono spesso osservate tra le cultivar, sono dovute a dei fattori di ordine puramente genotipico e ad altre piuttosto correlate alle interazioni della pianta con il suo ambiente di coltura.

## I FATTORI CHE MODIFICANO L'ASSETTO PROTEICO: EFFETTI DI TEMPERATURA E REGIME IDRICO

Gli scienziati sono "scetticamente ottimisti", essi cioè ritengono di essere in grado di risolvere qualsiasi problema di produttività delle piante solo potendo

disporre di maggiori capitali e di conseguenza migliori mezzi di ricerca. Con il passare degli anni si è convenuto sull'esistenza di alcuni limiti alla produttività delle piante coltivate legati a fattori ambientali. Questa situazione era risultata in realtà già ben chiara all'uomo che per primo "domesticò" le piante: egli, infatti, sapeva bene come limitazioni di temperatura, luminosità e disponibilità idrica avessero un'influenza fondamentale sull'accrescimento e sviluppo e, alla fine del processo, sulla produttività delle piante agrarie. Oggi, nell'era dominata dalla tecnologia, a volte questi concetti vengono dimenticati. Lo scopo è di conoscere quali fattori ambientali influenzino in maniera determinante la produttività delle piante e in che modo si realizzino le principali interazioni "genotipo x ambiente". In tema di rifornimento idrico sembra che la natura degli apporti sia d'importanza capitale, dato che una applicazione tardiva dell'irrigazione (con un regime che soddisfa il 70% dei fabbisogni totali) interferisce positivamente sul tenore finale di proteine a prescindere sia dal tipo di suolo su cui insiste la coltivazione che dallo specifico genotipo adottato. In soia, ad esempio, il processo di traslocazione degli elaborati verso i baccelli e il seme è influenzato dalla temperatura. L'accumulo di elevate temperature, durante la fase di riempimento del seme, produce degli effetti positivi sulla sintesi di proteine e sul rendimento, in assenza di stress idrico. In fin dei conti, la scelta varietale, quindi il peso relativo dei fattori genetici, è la più importante, a condizione che si rispettino degli itinerari tecnici colturali appropriati. Si ricorda naturalmente il buon adattamento della varietà alla località di coltivazione (precocità del genotipo e rispetto dei periodi di semina consigliati) e il controllo dell'irrigazione (apporto tardivo molto raccomandato). Queste pratiche sono ben conosciute, ma ancora scarsamente messe in pratica. Il tenore in proteine del seme di soia interessa tutte le voci della trasformazione: valore del pannello dopo l'estrazione dell'olio, qualità dell'alimento per il bestiame ottenuto da cottura del seme intero (tipo di estrusione) o dei prodotti di prima trasformazione destinati all'agroalimentare. Per questi ultimi anche la qualità delle proteine è essenziale. Il livello di qualità dei *soyfood* dipende dalle proprietà delle materie prime, differenti in funzione del tipo di prodotti finali desiderati. Nel caso del *tonyu* (latte di soia) e, in linea generale, per tutte le bevande a base di soia le qualità funzionali e le proprietà di solubilizzazione delle proteine sono da ottimizzare. Per quanto riguarda il *tofu* (formaggio di soia) e i suoi derivati, una grande importanza deve essere rivolta alla capacità di coagulazione delle proteine. In generale, la composizione della frazione proteica è implicata nelle numerose proprietà (specie funzionali) del seme, mentre la conoscenza delle differenti frazioni proteiche risulta essere molto importante.

## GLI ISOFLAVONI NEL SEME DI SOIA

Numerosi studi hanno messo in evidenza l'importanza del fattore "genotipo" per il tenore in isoflavoni. Così per esempio Eldridge e Kwolek (1983) e Tsukamoto et al. (1995) hanno rilevato un tenore in isoflavoni da 1,16 a 3 mg/g e da 0,79 a 3,5 mg/g a seconda delle varietà. Questa variabilità sembra legarsi con certe caratteristiche intrinseche della pianta, come ad esempio la precocità. Sembra che le varietà precoci abbiano un tenore in isoflavoni meno elevato rispetto alle varietà tardive. Il tenore in isoflavoni, caratteristico di una varietà, può essere legato anche alla sua capacità di resistenza nei confronti di patogeni e parassiti. Così la forte resistenza ai patogeni di certe specie potrebbe essere legata al forte contenuto in daidzeina e genisteina. Il potenziale genotipico inoltre è influenzato in modo marcato da fattori ambientali (interazione "genotipo x ambiente"). La biosintesi degli isoflavoni – e, in linea generale, la biosintesi dei composti flavonoidi – sono sotto l'influenza delle condizioni del mezzo di coltivazione. Per una stessa varietà, variazioni sul tenore in isoflavoni, sono state osservate a seconda dell'annata di coltivazione o delle condizioni della coltura. Tra i parametri ambientali influenzanti il tenore in isoflavoni, la temperatura, durante la fase di sviluppo del seme, sembra essere la principale. Le temperature elevate tenderebbero a ridurre il tenore in isoflavoni nel cotiledone, mentre, durante la crescita della pianta, influenzano la durata dello sviluppo. Un legame significativo tra il tenore in isoflavoni e la durata dello sviluppo sembra sia stato messo in evidenza. I fattori colturali che influenzano lo sviluppo della pianta (per esempio stress idrico) hanno ugualmente un'azione a livello del tenore in isoflavoni del seme a maturità. Da prove sperimentali condotte in Francia risulterebbe che le concentrazioni di queste molecole siano dell'ordine di 2-7 mg/g a seconda del genotipo. Le stesse prove hanno mostrato che si possono avere variazioni nelle concentrazioni di isoflavoni dell'ordine del 50-60% a parità di caratterizzazione genotipica, in funzione delle differenti condizioni ambientali. Le componenti ambientali hanno un ruolo importante come la gestione della temperatura, nella fase di germinazione e nella prima fase di sviluppo della pianta, la disponibilità idrica nell'ultima fase del ciclo, la presenza di stress relativi a danneggiamento dei tessuti, dovuti ad esempio a stress biotici e/o di tipo meccanico. Per il settore mangimistico è richiesta la possibilità di ottenere mangime di elevata qualità nutrizionale a un costo minore (prodotto non trattato termicamente), basso contenuto in fattori antinutrizionali (Kunitz, Bowman Birk, lectine) e un elevato contenuto in lipidi che consente di apportare alla razione un notevole contributo energetico. Per il settore soyfood si richiedono invece prodotti, tradizionali e non, di elevata qualità organolettica (sapore, consistenza, colo-

re), un elevato contenuto in composti nutraceutici (isoflavoni e saponine), un basso contenuto in fattori antinutrizionali e un basso contenuto in zuccheri facilmente fermentescibili, quali raffiniosio e mannosio. La caratterizzazione delle varietà, secondo la qualità proteica, è un aspetto che non viene considerato attualmente nei nostri mercati dove la granella di soia, come prodotto indifferenziato, spunta prezzi di mercato molto bassi. Sono auspicabili pertanto ulteriori studi che consentano di fare luce sulle varietà più promettenti, da un punto di vista qualitativo, per utilizzi specifici. La valorizzazione qualitativa della coltura di soia potrebbe consentire un miglioramento del reddito dell'imprenditore agricolo e la reintroduzione nell'avvicendamento di una pianta molto apprezzata ai fini agroambientali per le sue modeste esigenze di "input chimico".

#### LA NUTRIZIONE AZOTATA NELLE LEGUMINOSE: L'ESEMPIO SOIA

La nutrizione azotata della soia si realizza normalmente attraverso due vie:

- l'assorbimento del nitrato dal terreno, attraverso l'apparato radicale, e la sua successiva riduzione ad azoto ammoniacale che ha luogo principalmente nelle foglie; l'enzima limitante di questa catena di reazioni è la nitrato reductasi;
- la fissazione dell'azoto atmosferico grazie all'enzima nitrogenasi dei rizobi contenuti nelle nodosità che si formano sul sistema radicale.

Queste due vie del rifornimento in azoto possono essere complementari o concorrenziali a seconda della dose di nitrato apportata alla coltura, della fase vegetativa e delle condizioni ambientali.

#### *Misura dell'azoto fissato e assimilato*

È interessante poter determinare l'importanza relativa delle due vie della nutrizione azotata. Esistono numerosi metodi ma nessuno di questi è perfetto ed è dunque necessaria la comparazione dei risultati ottenuti attraverso diverse tecniche.

Si possono distinguere due gruppi di metodi:

- a. le misure cumulative ottenute per differenza;
- b. le misure istantanee delle attività enzimatiche.



I metodi per differenza sono in generale utilizzati al momento della raccolta della granello. Confrontando la quantità d'azoto contenuta in una coltura di soia nodulata e in una non inoculata e non nodulata (fig. 9) o utilizzando una isolina geneticamente non nodulante, si può ottenere una stima della quantità dell' $N_2$  fissato. Questo metodo è tuttavia falsato dal fatto che una pianta non nodulante assorbe azoto dal terreno in modo differente dalla pianta nodulata. Un altro metodo cumulativo consiste nell'utilizzare la marcatura dell'azoto assimilato attraverso l'impiego dell'isotopo naturale  $^{15}N$ . Sono disponibili due tecniche che derivano dal medesimo principio, l'utilizzazione di un concime arricchito in  $^{15}N$  oppure la misura dell'abbondanza isotopica naturale in  $^{15}N$ . La quantità di azoto fissato si ottiene per differenza tra azoto totale e azoto assimilato. È la metodologia più precisa a condizione di disporre di una buona pianta di riferimento, che assorbe dal terreno il concime marcato nello stesso momento e nella stessa quantità della pianta nodulata. Questo metodo cumulativo permette di determinare la quantità di azoto fissato dopo un lungo periodo di tempo, cioè alla raccolta. Esistono d'altra parte dei metodi istantanei che permettono di rivelare delle variazioni rapide di nutrizione azotata. Questi metodi si basano sulla misura dell'attività degli enzimi chiave (nitrato riduttasi per l'assimilazione dell'azoto e nitrogenasi per la fissazione) o sulla misura di un prodotto specifico dell'assimilazione o della fissazione.

Il nitrato ridotto è misurato a partire dalla sequenza di reazioni:  $NO_3^- \rightarrow NO_2^- \rightarrow NH_4^+$

La prima di queste due reazioni costituisce la tappa limitante principale dell'assimilazione dell' $NO_3^-$ ; è dunque teoricamente possibile valutare l'attività reale di questo enzima dosando il nitrito prodotto durante un dato tempo da un vegetale o da un suo campione. La misura può essere effettuata attraverso la metodica in vivo su frammenti di foglia o di radice, oppure attraverso il metodo in vitro, su tessuti essiccati o tramite il metodo in situ su foglia o anche pianta intera.

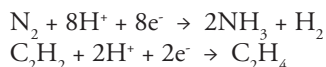


Fig. 9 *Diversità di pigmentazione e biomassa fogliare in soia normalmente batterizzata (sx) e non inoculata*

Nel metodo in vitro le concentrazioni dei substrati  $\text{NO}_3^-$  e NADH sono saturanti, la quantità di nitrito formata è proporzionale alla quantità della proteina nitrato riduttasi presente nel tessuto vegetale. Si può anche stimare la capacità nitrato riduttasica su di un estratto enzimatico ottenuto dopo essiccazione dei tessuti.

Il metodo in situ ha per obiettivo la misura dell'attività reale della nitrato riduttasi. In questo caso, l'attività reale della nitrato riduttasi è ottenuta disponendo gli organi vegetali al buio e in assenza di ossigeno. Nelle foglie vi è una buona correlazione tra questa misura di attività nitrato riduttasica e la quantità di nitrato realmente ridotto, stimati utilizzando nitrato marcato. In queste condizioni la misura dell'attività dipende strettamente dalla disponibilità in substrati ( $\text{NO}_3^-$  e NADH) al sito attivo dell'enzima.

La fissazione dell'azoto può essere stimata attraverso la misura dell'attività nitroge-nasica, grazie a una proprietà originale di questo enzima: la sua capacità di ridurre non solamente l'azoto ad ammoniaca ma anche contemporaneamente l'acetilene ad etilene.



L'etilene è facile a misurarsi con il metodo cromatografico in fase gassosa. La misura dell'attività riduttrice dell'acetilene (Acetylen Reduction Activity: ARA test) può essere effettuata sui noduli asportati dalla pianta, sul sistema radicale posto in un flacone o su pianta intera. Quest'ultimo metodo è particolarmente interessante perché permette di agire in campo o in serra, disturbando al minimo la fisiologia della pianta. In un cilindro di plastica (fig. 10) o di metallo viene inserita una pianta di soia alimentata da una apposita soluzione nutritiva. L'acetilene, classico accettore di elettroni, viene sostituito dall'argon, gas inerte in grado di compiere la stessa funzione dell'acetilene, cioè di ridursi in presenza degli elettroni liberati dal processo di fissazione. La sostituzione viene eseguita allo scopo di evitare che l'etilene prodotto reagisca con il materiale di cui sono fatti i dotti adduttori. Contemporaneamente si esegue il prelievo di campioni di etilene una volta che si sia formato. Un altro metodo di misura della fissazione si basa sulla proprietà della Tribù *Phaseolae*, tra cui la soia, di trasportare l'azoto fissato essenzialmente sotto forma di ureidi (allantoina, acido allantoico); questi composti restano per contro ad una concentrazione molto bassa nella linfa, se la pianta assorbe il nitrato.

Vi è una buona correlazione tra attività fissatrice e tenore in ureidi nella linfa durante i primi 60-80 giorni dall'inizio del ciclo vegetativo.

I metodi cumulativi sono interessanti per impostare il bilancio dell'azoto a fine coltura. I metodi istantanei sono utili invece per determinare l'influenza di una variazione rapida di nutrizione azotata sugli enzimi chiave del metabolismo azotato della soia.

### *Caratteristiche del «Bradyrhizobium japonicum»*

La fissazione è realizzata da batteri, i *bradirizobi* che penetrando nella radice inducono la formazione di una nodosità o nodulo. Questa escrescenza di forma sferica misura, in soia, da 3 a 10 mm di diametro. La sezione di un nodulo in attiva fissazione appare di colore rosso mattone a seguito della presenza della *leghemoglobina* che ha il ruolo sia di trasportatore dell'ossigeno necessario alla vita del batterio che di protezione della nitrogenasi che può essere inibita ad una certa pressione critica di  $O_2$ . I bradirizobi sono facili da allevare in laboratorio, ma non formano spore, pertanto sono necessari dei supporti d'inoculo che permettano a questi microrganismi di conservare una buona vitalità fino all'impiego da parte dell'agricoltore. Il bradirizobio capace di nodulare la soia è specifico ed inizialmente risultava assente dai terreni europei. In Africa e in America Latina, i rizobi delle piante tropicali tra cui il genere *Vigna sp.* sono capaci di formare nodosità anche su soia, ma anche in questi casi è preferibile batterizzare ex novo la semente.

Nel proseguo della trattazione non si faranno differenze tra i diversi nomi di genere e specie proposti per nominare i rizobi specifici per soia.

Affinché un ceppo di *Bradyrhizobium japonicum* sia utilizzabile dall'agricoltore è necessario che questo sia saggiato preliminarmente per:

- la sua capacità di sopravvivenza nell'inoculante (veicolo fisico trasportatore di rizobio) e nel terreno;
- la sua attitudine ad entrare in competizione con altri ceppi;
- la sua capacità fissatrice in simbiosi con le varietà di soia più diffuse.

### *Sopravvivenza e capacità competitiva dei ceppi di «B. japonicum»*

Negli anni '80, all'inizio della coltivazione della soia, i ceppi di *B. japonicum* erano assenti dai terreni italiani, pertanto sono stati introdotti attraverso l'inoculazione delle sementi e/o del terreno. Da un punto di vista sia pratico che teorico è importante conoscere il comportamento dei ceppi che vengono utilizzati; studiare l'ecologia di questi batteri comporta la loro identificazione e il dimensionamento della popolazione derivante da un dato ceppo.

I rizobi non presentano delle caratteristiche morfologiche e nutrizionali particolari. In altri termini si deve provvedere alla identificazione di ciascun ceppo. Dopo che il ceppo è stato identificato si ottengono dei dimensionamenti precisi e specifici nel suo mezzo naturale. I risultati sperimentali mostrano che le popolazioni di ceppi

ben studiati tendono verso un livello di equilibrio che si colloca all'incirca da mille a diecimila batteri per grammo di suolo. Se in un terreno contenente un ceppo di *B. japonicum* introdotto precedentemente si aggiunge un ceppo diverso, ma con la stessa specificità, i due ceppi si stabilizzano a dei livelli identici e non viene meno la sopravvivenza del primo ceppo; ciò prova che il numero di micro habitat non è limitante. Questi risultati fanno supporre l'esistenza di una legge d'equilibrio del tipo "preda-predatore" e provano che si possono introdurre successivamente più ceppi inoculanti nel terreno. Un certo numero di aspetti resta tuttavia ancora da chiarire: ad esempio la localizzazione dei bradirizobi a livello degli aggregati strutturali del terreno non è stato ancora preso in considerazione.

La competizione tra ceppi di *Bradyrhizobium* per la formazione dei noduli è la risultante di due caratteristiche:

- la capacità saprofitica, che traduce la loro attitudine a sopravvivere e moltiplicarsi;
- l'attitudine a formare nodosità in presenza di ceppi con la medesima specificità.

Con l'inoculazione del seme si ha la possibilità di una rapida formazione dei noduli, condizione essenziale per un armonico funzionamento dei cicli di sintesi proteica nella pianta. Al contrario nel caso in cui siano presenti diversi ceppi nel terreno, la capacità saprofitica e l'attitudine a formare noduli acquistano una rilevanza particolare per arrivare ad una simbiosi sufficientemente efficiente. Lo studio della dinamica delle popolazioni ha per obiettivo la descrizione di questi fenomeni. Questo tipo di studio condotto per la soia ha come scopo l'ottenimento di una nodulazione con ceppi selezionati.

### *Assimilazione dell'azoto minerale e fissazione dell'azoto atmosferico*

Attività nitrogenasica, idrogenasica e costo energetico della fissazione.

L'enzima nitrogenasi, situato nei rizobi localizzati nelle nodosità radicali, catalizza la riduzione dell'azoto atmosferico ad ammoniaca. Infatti, questo enzima è composto di due unità: la prima, che porta il sito attivo della riduzione dell'azoto, contiene ferro e molibdeno e ciò spiega come la carenza in molibdeno inibisca la fissazione dell'azoto; la seconda unità ha il ruolo di trasferire gli elettroni alla prima che contiene Fe.

Occorrono 6e<sup>-</sup> per ridurre una molecola d'azoto, tuttavia altri due elettroni vengono trasferiti per ridurre due protoni ad idrogeno. L'idrogeno gassoso liberato dal processo andrebbe perso per volatilizzazione se non vi fosse una idrogenasi che li può trasferire riducendo in parte l'elevato costo energetico del processo di fissazione come esemplificato nel primo box.

In soia è noto che la fissazione simbiotica dell'azoto è limitata dalla quantità di fotosintati allocati dalla pianta per questo processo; in effetti un aumento della fotosintesi accresce l'attività della nitrogenasi. I substrati carboniosi sono trasportati dal floema sotto forma di saccarosio in quantità variabile durante la vita della pianta. Questo rifornimento risulta ottimale in piena fioritura e durante il riempimento dei baccelli e rappresenta circa il 15% della quantità totale del carbonio fissato attraverso la fotosintesi.

Il costo energetico della riduzione dell' $N_2$  attraverso la nitrogenasi non sarebbe teoricamente distante da quello della riduzione del nitrato ad ammonio, ma si devono considerare, nel caso della nitrogenasi, altri costi energetici specifici per il mantenimento delle strutture nodulari, tali da far risultare il costo della fissazione superiore a quello della riduzione del nitrato. Inoltre, qualora l'accrescimento della pianta venisse disturbato da uno stress, la fissazione dell'azoto rallenterebbe prima dell'assimilazione del nitrato. Infine l'ammonio è la forma azotata fornita alle leguminose dal *Bradyrhizobium*, ma la maggior parte delle piante superiori la cui alimentazione azotata è assicurata essenzialmente o esclusivamente da questo catione, presentano delle rese in sostanza secca assai modeste. Le cause di questa limitata capacità di accrescimento non sono ancora del tutto note ma le leguminose le subiscono così come le piante di altre famiglie.

Le due vie della nutrizione azotata sono dunque necessarie per una nutrizione ottimale.

Per aumentare la fissazione dell'azoto, sarebbe necessario sia aumentare il rifornimento di energia ai noduli, sia ridurre il costo energetico del processo. Mettere a disposizione una maggiore quantità di fotosintati permette di aumentare la massa dei noduli, ma non modifica la loro attività poiché questa è limitata da altri fattori tra i quali la pressione di ossigeno presente dei batteri nei noduli.

Un fattore limitante la fissazione dell'azoto risiede nella quantità di substrati utilizzabili dal batterio, quindi una maggiore allocazione di fotosintati nei noduli porterebbe all'incremento dell'efficacia della simbiosi. Si può pertanto concludere che il buon accrescimento della soia è condizione favorevole per raggiungere questo obiettivo e, conseguentemente, l'assorbimento di nitrato dal terreno è condizione necessaria per consentire tale crescita.

### *Influenza dell'azoto combinato sulla fissazione*

L'azoto minerale combinato stimola o inibisce la fissazione dell'azoto atmosferico e questo effetto dipende dalla concentrazione e dalla forma di apporto

dell'azoto (urea, ammonio o nitrato). In piante allevate in soluzione nutritiva, l'urea stimola la nodulazione e l'attività nitrogenasica della soia. Il nitrato e l'ammonio non stimolano la fissazione se non a deboli concentrazioni e la inibiscono, al contrario, con concentrazioni superiori a 2 mM. L'effetto stimolatore del nitrato a debole concentrazione si spiega essenzialmente attraverso un migliore accrescimento delle piante, in particolare durante la fase vegetativa che precede l'inizio della fissazione dell'azoto (20 giorni in serra, 30-50 giorni in campo). Se la nitrificazione, cioè la trasformazione dell'ammonio in nitrato è debole, l'apporto di nitrato può essere benefico per favorire lo sviluppo fogliare e la fotosintesi oltre a far aumentare la quantità di energia disponibile per lo sviluppo e l'attività dei noduli.

A più elevata concentrazione, l'effetto inibitore dello ione  $\text{NO}_3^-$  è evidente in tutte le tappe della simbiosi. Il  $\text{NO}_3^-$  inibisce la penetrazione dei *Bradyrhizobium* nei peli radicali assorbenti e se il nodulo è formato, la sua crescita si arresta e la nitrogenasi cessa di funzionare. L'effetto inibitore sulla nodulazione sarebbe dovuto ad una limitazione della sintesi delle lectine. Queste proteine, sono proteine, in grado legarsi ai carboidrati, escrete dalla radice permettono l'assorbimento dei nutrienti che precede la penetrazione dei *Bradyrhizobium* specifici. Se la sintesi è ridotta dalla presenza del nitrato, il numero dei punti d'infezione e di noduli sono quindi inferiori. È ugualmente possibile che il nitrato perturbi il metabolismo dell'IAA (acido indolacetico) da parte del batterio, modificando il ruolo dell'ormone al momento della penetrazione dei batteri nel pelo radicale assorbente. Selezionare delle associazioni *Bradyrhizobium*-soia capaci di fissare l'azoto atmosferico in presenza di dosi elevate di nitrato nel terreno, sembra possibile. Una conoscenza più approfondita dei meccanismi dell'inibizione da parte del  $\text{NO}_3^-$  aiuterà certamente a raggiungere questo obiettivo.

### *Evoluzione dell'azoto nitrico assimilato*

L'assimilazione dell'azoto nitrico è stata studiata da un punto di vista enzimatico sulla varietà "Hodgson". Lo studio ha consentito la valutazione dell'attività di tre enzimi chiave nel processo di assimilazione dell'azoto: la nitrato riduttasi (NR), la glutammina sintetasi (GS) e la glutammato deidrogenasi (GDH).

La nitrato riduttasi catalizza la prima tappa del processo di assimilazione dei nitrati. La velocità del processo è limitata dalla bassa attività della NR e dalla scarsa disponibilità di nitrato a livello del sito attivo dell'enzima. L'attività nitrato reduttasica specifica media è massima all'inizio del ciclo di crescita, e decresce fino alla senescen-

za della pianta. La glutammina sintetasi pur essendo un enzima chiave per l'assimilazione dell'azoto, non è limitante della sintesi proteica. La sua attività comunque è molto importante durante tutto il ciclo. Infine la glutammato deidrogenasi, essenziale nell'assimilazione di  $\text{NH}_4^+$ , nel corso dell'accrescimento della pianta, sembra importante nella fase di senescenza: la sua massima attività si riscontra al momento della mobilitazione dell'azoto verso il seme, alla fine del ciclo. La NR e la GS partecipano invece pienamente all'accrescimento e allo sviluppo dell'apparato vegetativo.

### *Evoluzione dell'azoto fissato*

Il primo composto che si forma dalla fissazione dell'azoto è l'ammonio. Questa molecola tossica è liberata nel citoplasma della cellula dal nodulo radicale e poi immediatamente legata a catene carboniose per formare, glutammina e glutammato. Le vie metaboliche che si attivano sono due: GDH-GS, e GS-GOGAT. Ma nelle piante della Tribù *Phaseoleae* (soia, vigna, fagiolo) il trasporto dell'azoto fissato avviene essenzialmente tramite le ureidi glicosidiche, (allantoina, acido allantico).

Le ureidi hanno un rapporto C/N uguale a 1. Questa particolarità è stata spesso interpretata come un modo per economizzare gli scheletri carboniosi ridotti e quindi l'energia inerente al trasporto dell'azoto fissato; in effetti, nelle altre leguminose l'azoto è veicolato sotto forma di amidi, che hanno un C/N che varia da 2 a 2,5. Le ureidi non si sono formate per incorporazione diretta dell' $\text{NH}_4^+$  in una molecola carboniosa, ma per degradazione delle basi puriniche. Quindi la loro presenza nella linfa floematica implica la biosintesi ex-novo delle purine e in seguito il loro catabolismo. Le purine possono derivare dall'azoto fissato nel nodulo, dall'azoto immagazzinato nelle foglie e soprattutto dall'azoto immagazzinato nel fusto della pianta. Le ureidi possono rappresentare fino all'80% dell'azoto in soluzione nella linfa della soia. La comparazione delle attività enzimatiche delle piante che sintetizzano amido e ureidi ha evidenziato che queste ultime hanno una attività dieci volte più elevata delle prime. Si evince quindi che la quantità di purina prodotta nel nodulo è molto elevata. Inoltre la soia ha una attività ureasica molto elevata (24 volte maggiore che in pisello). Questo spiega la formazione di una quantità importante di ureidi. La soia non sembra possedere però una attività allantoinasica: questo enzima catalizza l'ultima tappa della degradazione degli ureidi in urea e acido glicosidico; l'acido allantico può essere quindi rimosso dal flusso della linfa e trasportato verso le parti aeree della pianta. Invece nelle radici e nelle nodosità radicali di pisello, l'attività allantoinasica è elevata, e le ureidi formate, inizialmente in debole quantità, sono degradate prima di migrare nel fusto; ciò spiega la mancanza di ureidi nel fusto di tali piante.

Vi è una buona correlazione tra l'attività fissatrice (misurata con ARA test) e il tenore della linfa in ureidi durante i primi sessanta giorni di vita della pianta. Questa osservazione ha suggerito che la misura del tenore in ureidi potrebbe permettere di reperire le associazioni soia-*Bradyrhizobium* più efficaci. Questo test si usa, ma è anche possibile che il suo utilizzo non sia appropriato per distinguere le associazioni ad elevata efficienza nella sintesi di ureidi; infatti il tenore in ureidi sembra raggiungere un limite quando la fissazione dell'azoto diventa molto importante.

### *Distribuzione e rimobilizzazione dell'azoto di origine simbiotica*

L'evoluzione dell'azoto fissato dalla soia coltivata in condizioni naturali è stata studiata esponendo il sistema radicale di quest'ultima a  $^{15}\text{N}_2$  gassoso durante differenti periodi del ciclo vegetativo. Campionamenti successivi di piante così marcate hanno permesso di determinare la ripartizione dell'N fissato nei differenti organi e le sue variazioni in funzione del tempo. L'azoto di origine atmosferica è indirizzato dalla pianta principalmente verso le parti aeree della stessa e lo stadio fenologico esercita una forte influenza sulla ripartizione iniziale.

Fino al 69° giorno il lembo attira circa il 50% dell'azoto fissato. Dopo questo stadio i baccelli incrementano il loro contenuto di azoto, innalzando la percentuale dell'azoto fissato utilizzato a 60% al 92° giorno. A partire dall'82° giorno i fusti e i piccioli fissano fino al 30% dell'azoto fissato totale. La ripartizione dell'N nelle piante al giorno 110 e 145 indica che l'azoto fissato è rimobilizzato dai tessuti vegetanti e dalle pareti dei baccelli ed è convogliato verso i semi. Questo trasferimento riguarda all'inizio l'azoto di accumulo più recente, così che l'azoto fissato all'82° giorno, e immagazzinato nei fusti e nei piccioli, stato quasi totalmente rimobilizzato al 110° giorno; ciò suggerisce che quest'ultimo deve essere presente in gran parte in una forma facilmente rimovibile. Per contro l'azoto fissato al 54° giorno è stato mobilizzato più lentamente. A maturità, qualsiasi sia il periodo di fissazione, l'80-90% dell'azoto fissato è allocato nei semi. Se compariamo queste percentuali con quelle dell'azoto totale della pianta – gli organi vegetativi rimuovono circa il 50% del loro azoto – si constata che l'azoto di origine atmosferica è mobilizzato per l'approvvigionamento dei semi, invece l'azoto proveniente dal suolo tende a rimanere nelle foglie. Di conseguenza la mobilizzazione dell'azoto fogliare è ritardata e queste ultime restano attive per un periodo più lungo. Questo risultato sottolinea l'importanza della fissazione che parteciperebbe quindi in maniera preponderante alla nutrizione del seme. Si può pensare che questa differenza di comportamento tra l'azoto proveniente dal suolo e quello proveniente dall'atmosfera sia il risultato dell'incorporamento di questo elemento in composti



differenti: l'azoto assimilato soprattutto nelle foglie è incorporato negli amminoacidi mentre l'azoto fissato a livello radicale è incorporato nelle ureidi. È stato ipotizzato che la sintesi delle ureidi potrebbe procurare alla pianta un vantaggio energetico. Ma l'abbondante presenza di queste sostanze nelle leguminose fissatrici può derivare dal fatto che le ureidi sono obbligatoriamente trasferite verso le parti aeree perché non esiste nelle loro radici una attività allantoinasica capace di degradarle.

*Evoluzione delle attività nitrato reduttasica e nitrogenasica durante il ciclo vegetativo*

Le ricerche delle quali qui si sintetizzano i principali risultati, si sono basate su esperimenti condotti in ambiente confinato (serra) e in pieno campo. La ricerca in serra, cioè in assenza di disturbi ambientali, aveva come scopo la determinazione dell'influenza reciproca delle attività enzimatiche chiave delle due vie biosintetiche: la nitrato reduttasi e la nitrogenasi. Da queste esperienze è emerso che la nodulazione sembra avere un effetto depressivo sull'assimilazione del nitrato. È dunque necessario trovare un equilibrio tra queste due vie della nutrizione azotata per ottenere un rendimento ottimale senza ostacolare l'una rispetto all'altra.

L'azoto assimilato e quello fissato sono stati misurati in soia coltivata anche in ambiente aperto. In pieno campo, l'attività nitrato reduttasica (misurata in vitro sulle quattro foglie apicali) inizia da quando la fotosintesi si attiva. L'assimilazione del nitrato presenta un massimo all'inizio della fioritura e poi diminuisce. Questo abbassamento tuttavia non è così rapido come indicato in figura 11, poiché anche se le 4 foglie su cui si sono effettuate le misure sono le più attive, la loro importanza rispetto all'attività nitrato reduttasica totale diminuisce quando il numero di foglie aumenta. Di norma verso il 30° giorno, in una coltura cominciano ad apparire i primi noduli radicali. Questo fenomeno richiede più tempo in annate fredde e meno tempo nelle colture ritardate. Verso il 50° giorno la fissazione diventa attiva. L'importanza dell'attività fissatrice cresce rapidamente man mano che quella della nitrato reduttasi diminuisce, e presenta il suo massimo prima dell'inizio del riempimento del seme. In seguito questa attività si riduce, dato che i fotosintati vengono trasportati verso i baccelli e raggiungono in quantità via via minore i noduli i quali cessano progressivamente di funzionare per mancanza di substrato energetico.

Le attività "specifiche" della nitrato reduttasi e della nitrogenasi sono state misurate. Esse corrispondono alle attività enzimatiche espresse per grammo di

foglia e per grammo di nodulo, rispettivamente. Queste attività diminuiscono con l'invecchiamento degli organi vegetativi in cui avvengono, comunque la diminuzione di concentrazione delle sostanze sintetizzate è compensata da un aumento sia della biomassa fogliare che di quella dei noduli; questo spiega come le curve delle attività enzimatiche comprendano un picco di massimo nel loro andamento.

Se si confrontano le attività enzimatiche riferite a tutta la pianta per più cicli, si constata come l'andamento delle attività vari fortemente in funzione del tempo. Un suolo ricco in azoto favorisce l'attività nitrato riduttasica, per contro lo stesso suolo povero di azoto in un secondo anno favorisce una attività nitrogenasica (ARA test) precoce che può venire interrotta verso il 65° giorno da un moderato deficit idrico. Il fatto che le due attività nitrato riduttasica e nitrogenasica si sviluppino in successione, potrebbe suggerire che i due processi biochimici sono antagonisti. In realtà se si coltiva la soia in serra, in soluzione nutritiva permanentemente arricchita di azoto, le due curve possono presentare un massimo nello stesso periodo (70-80° giorno).

Le intensità dei processi enzimatici sono fortemente influenzate dai fattori ambientali. Per l'agricoltore sarebbe interessante aumentare la quota di azoto fissato e ridurre l'attività nitrato riduttasica, corrispondente ad un costoso fattore di input. Sfortunatamente quando la pianta ha a disposizione le due risorse di azoto, favorisce l'assimilazione del nitrato e riduce proporzionalmente la fissazione di quello atmosferico. Questo processo è senza dubbio dovuto all'inibizione della fissazione simbiotica da parte del nitrato.

Una indagine effettuata negli USA ha chiarito che la leguminosa, presente negli areali di coltivazione del mais in alternanza con soia, fissa solamente dal 20 al 50% dell'azoto contenuto nella pianta. Nelle zone dove al posto del mais è presente il girasole, meno bisognoso di azoto, la pianta riesce a fissare invece fino a circa il 60% dell'azoto necessario alla sua nutrizione. Esiste una eccellente correlazione tra attività fissatrice e il peso dei noduli e delle foglie. Se il sistema fogliare è ben sviluppato, la quantità di fotosintati prodotta è importante; questi ultimi forniscono le catene carboniose e l'energia necessarie alla formazione di numerosi noduli per una conseguente intensa azotofissazione.

Durante il ciclo vegetativo cambia notevolmente l'incidenza della massa fogliare sull'intera attività della pianta, ad esempio le foglie portate ai nodi inferiori ricevono meno luce ed hanno senza dubbio una sintesi di glucidi inferiore al consumo degli stessi. È anche possibile che lo sviluppo della massa vegetativa sia il risultato di una abbondante disponibilità di nitrato nel suolo

che potrebbe aver inibito la nitrogenasi. Una fissazione elevata è certamente correlata ad una fotosintesi attiva, ma quest'ultima non può essere aumentata semplicemente con l'incremento della massa fogliare; un eccessivo sviluppo vegetativo non provoca necessariamente una fissazione più attiva. Inoltre uno sviluppo eccessivo comporta un elevato consumo idrico per traspirazione.

### *Influenza dei fattori ambientali*

I fattori ambientali influenzano in modo diverso le due attività: assimilazione e fissazione dell'azoto. Inoltre l'apporto di concime azotato stimola l'assorbimento del nitrato e la sua riduzione nelle foglie e inibisce la fissazione dell'azoto atmosferico. Una temperatura elevata del terreno (superiore ai 35° per soia) può avere la stessa influenza. Numerose osservazioni effettuate in Paesi tropicali mostrano che la soia fissa male in annate siccitose.

Alcune prove sperimentali effettuate in ambienti caratterizzati da clima mediterraneo, hanno confermato che un severo deficit idrico inibisce più la fissazione che l'assimilazione del nitrato. A scopo sperimentale una vecchia varietà ("Hodgson", gruppo I di maturazione) ben adattata agli ambienti sudeuropei è stata coltivata sottoponendola a differenti regimi irrigui, in primo e secondo raccolto.

I trattamenti irrigui sono stati i seguenti:

- a) irrigazione prossima all'evapotraspirazione massima (ETM) con interventi ogni 10 giorni, cioè con 676 mm d'acqua complessiva (pioggia e irrigazione);
- b) irrigazione effettuata secondo il medesimo principio ma interrotta per 33 giorni, cioè con 457 mm d'acqua totale;
- c) stesso tipo d'irrigazione ma interrotta per 53 giorni cioè con 242 mm d'acqua totale.

Applicando un progressivo distanziamento tra gli apporti (trattamenti b e c) l'attività nitrato reductasica viene certamente perturbata, ma l'attività nitrogenasica lo è ancora più intensamente. Nel caso del distanziamento massimo (trattamento c) la soia si è sviluppata in prevalenza a spese dell'azoto del suolo, si è dunque impoverito il terreno in azoto e la fissazione appare più sensibile al deficit idrico. Per una stessa quantità d'acqua irrigua apportata, degli interventi troppo tardivi o troppo distanziati tra loro possono far diminuire la fissazione, specialmente nella coltura in semina ritardata. L'irrigazione gestita attraverso l'aiuto di tensiometri potrebbe consentire di mantenere l'attività fissatrice al suo massimo egualmente bene sia in coltura principale che in quella ritardata.

### Conclusioni

Le due vie della nutrizione azotata della soia, assimilazione dell'azoto dal suolo e fissazione dell'azoto atmosferico, sono al tempo stesso complementari e concorrenziali. Dopo una coltura depauperatrice (sorgo) una moderata disponibilità di azoto nel terreno è necessaria, specie all'inizio del ciclo, per nutrire la pianta prima che le nodosità si formino e si attivino; inoltre, questo moderato rifornimento favorisce lo sviluppo del sistema fogliare e delle stesse nodosità, dunque è vantaggioso alla produzione di granella e alla fissazione. Il nitrato permette di stabilizzare la resa in seme, limitandone le oscillazioni. Infine l'assimilazione di questo anione è necessario al raggiungimento di rese elevate.

Il nitrato appare dunque come l'indispensabile "motore dell'accrescimento".

In genere il terreno contiene sufficiente sostanza organica che mineralizza a primavera e un apporto complementare di azoto alla soia non è necessario. Ciò nonostante non sembra escluso a priori che un apporto azotato a fine accrescimento, cioè quando la fissazione biologica tende a scendere e quindi senza eccessivo antagonismo tra N biologico e minerale, possa migliorare la resa e il contenuto di proteina del seme. Per contro una dose elevata di azoto non c'è dubbio che inibisce la fissazione ed è quindi inutile.

Vi è dunque interesse a favorire al massimo la fissazione che risulta gratuita per l'agricoltore e fornisce la maggior parte dell'azoto alla soia. Questo può essere ottenuto in particolare evitando accuratamente gli stress idrici. Sul piano microbiologico, l'inoculazione è indispensabile quando si coltiva soia per la prima volta. Gli inoculanti seguono delle norme di qualità tra le più severe. La fissazione potrà essere senza dubbio ancora migliorata grazie all'utilizzazione di associazioni *Bradyrhizobium*-soia più fissatrici, specialmente nei suoli ricchi in azoto. Vi è dunque la necessità di migliorare sia la capacità fissatrice del ceppo che della pianta posta in diverse condizioni ambientali e di risolvere il problema della competizione tra ceppi microbici diversi. Con le leguminose diminuisce il contributo dell'agricoltura all'effetto serra: - 0,2 tep/ha, - 600 kg/ha di CO<sub>2</sub>. Produzione e distribuzione degli azotati rappresentano il 20-30% dei costi energetici necessari alla normale coltivazione.

Alternando la leguminosa con i cereali si genera un positivo effetto di avvicendamento. La soia può precedere il grano tenero meglio che il mais (fumonisine) e seguire a molte altre colture. Gli effetti positivi di avvicendamento sono dovuti al tipo di sistema radicale (con noduli), all'azoto fissazione simbiotica e al relativo rilascio di azoto. Una varietà del gruppo I di maturazione può assimilare fino a 300-350 kg/ha di N (fig. 12). Il 67%

circa dell'N deriva da fissazione simbiotica e il 33% circa da assimilazione da radice. I 2/3 dell'N escono dal campo sottoforma di proteina grezza contenuta nella granella e solo 1/3 dell'azoto assimilato resta nel terreno sottoforma di residui colturali noduli radicali compresi. Tolte le perdite dovute alla denitrificazione e al dilavamento, di difficile quantificazione in quanto assai variabili nel tempo e nello spazio, solamente 50 Kg/ha di N restano disponibili per la coltura che segue nell'avvicendamento (grano tenero). Il granicoltore può quindi diminuire di una pari quantità l'apporto di N con la concimazione minerale senza far variare significativamente la resa del frumento.



Fig. 10 *Noduli radicali su radice di soia e ARA test in ambiente controllato*

L'azoto fissato nei noduli è prodotto a “caro prezzo” e traslocato al baccello. Il processo di fissazione biologica risente della strategia di competizione con l'O<sub>2</sub> (pressione critica) e l'NO<sub>3</sub><sup>-</sup> presenti nel terreno. È noto che una maggiore efficienza di fissazione è legata soprattutto alla massa dei noduli e meno al loro numero, oltre che alla loro permeabilità ai gas atmosferici. Pertanto la tecnica colturale non deve trascurare gli effetti che le lavorazioni del terreno esercitano sulla sua porosità; sono da evitare un eccessivo compattamento e il ristagno superficiale, condizioni che rendono il terreno asfittico e gli eccessi di azoto.

Due fasi del ciclo colturale sono fondamentali per l'accumulo proteico nel seme lo sviluppo e il buon funzionamento delle strutture partecipanti alla sintesi proteica: noduli radicali e apparato fogliare soprattutto. Durante il riempimento del seme avviene il trasferimento dei composti azotati (ureidi). Di norma un regolare svolgimento della prima fase comporta una simbiosi efficiente.

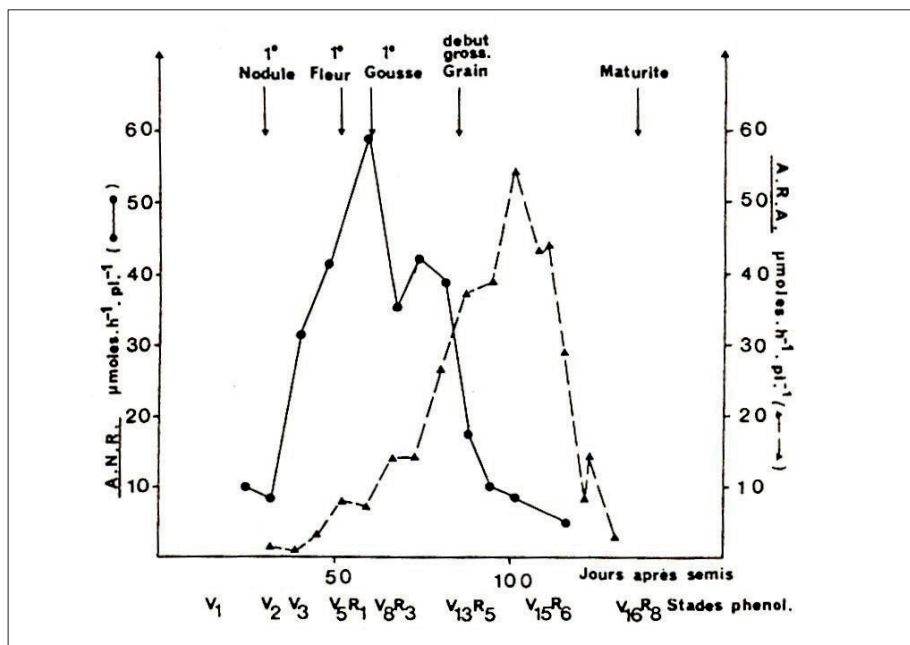


Fig. 11 Attività nitrato-reduttasica e nitrogenasica di soia coltivata in pieno campo (Obaton et al., 1983)

L'attività nitrato-reduttasica si attiva ben prima di quella nitrogenasica dato che i rizobi innanzitutto devono formare il filo d'infezione e penetrare nel pelo radicale di soia. I due picchi di attività appaiono distanziati tra loro, il primo si raggiunge alla formazione del 1° baccello e il secondo durante la fase di ingrossamento dei semi. Tra queste due fasi fondamentali per la pianta sembra mancare il supporto del rifornimento in N, in realtà parallelamente avviene il trasferimento delle ureidi neoformate.

Una coltura di soia può assimilare nel complesso circa 300 kg/ha di azoto di cui 173 tramite la fissazione e 127 da radice. Di questa importante quantità totale circa 200 unità escono dal campo con la granella raccolta e 100 kg/ha rimangono nel terreno di cui 50 rinserrati nei residui colturali rappresentati dalla parte aerea e altri 50 nella parte ipogea. Com'è noto nel terreno possono attivarsi due importanti processi di perdita dell'azoto: il dilavamento orientato verso gli strati più profondi e la denitrificazione che provoca delle perdite destinate ad evolvere verso l'atmosfera. I due interrogativi sono giustificati dal fatto che i probabili valori sono molto variabili in dipendenza di numerosi fattori ambientali quali la temperatura e l'umidità. Da ripetute prove speri-

mentali è emerso che il rilascio finale d'azoto a favore della coltura che segue ammonta a circa 50 kg/ha. Dunque in successione a soia è preferibile il frumento piuttosto che il mais, vista la disparità di esigenze tra i due cereali. Il granicoltore può diminuire di una cinquantina di chilogrammi la quantità di azoto da apportare al suo grano attendendo che la resa non vari rispetto al medesimo grano in successione ad altra coltura, diversa dalla leguminosa, concimato normalmente.

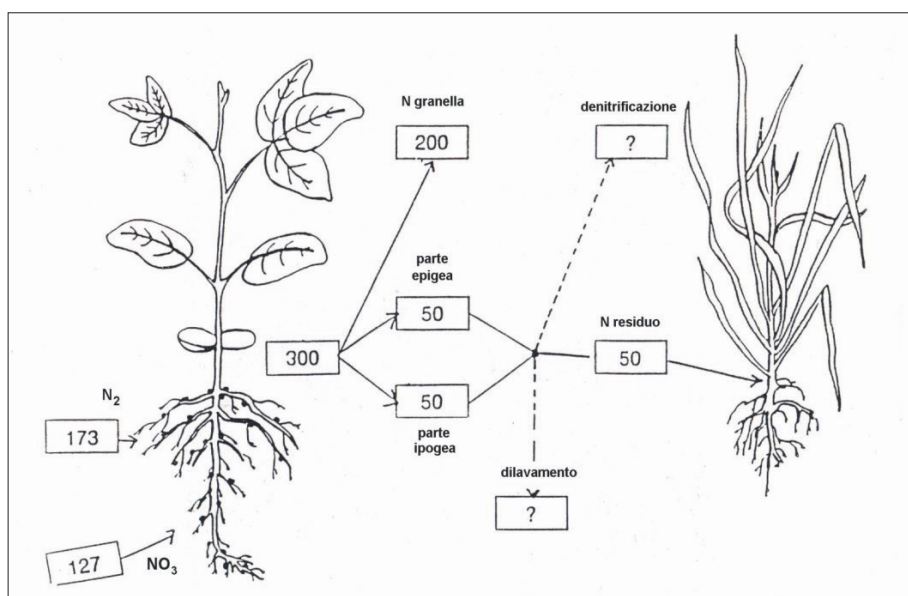


Fig. 12 Bilancio dell'N nell'avvicendamento biennale: soia-grano tenero

#### USI TRADIZIONALI E NUOVE UTILIZZAZIONI

La recente e continua evoluzione del mercato dei prodotti agricoli ha evidenziato i limiti allo sviluppo dei tradizionali sbocchi delle più importanti colture. In questo ambito una nuova opportunità è offerta dalle utilizzazioni non alimentari. Infatti, come accade ormai da tempo negli USA, accanto agli oli classici di colza e girasole, l'olio di soia può essere destinato sia alla produzione di bioenergia, dopo esterificazione, che alla utilizzazione come olio grezzo per impianti di microgenerazione a livello aziendale. A più riprese la soia è stata



studiata anche come foraggera (Toniolo et al., 1987; Andrichetto et al., 1992) per la produzione di insilati misti con mais trinciato integrale, fornendo, anche in questo caso, dei risultati interessanti a patto di scegliere varietà ad accrescimento sincrono con le esigenze del cereale estivo. Nella soia tuttavia sono presenti altri composti che hanno, al contrario, un effetto negativo sul metabolismo animale, quali gli inibitori della tripsina. Queste sostanze termolabili, rese normalmente inattive con trattamento termico, sono presenti nel seme, in particolare nel germe e nei cotiledoni, nonché in tutti i prodotti precedentemente illustrati, con concentrazione diversa in funzione del tipo di lavorazione.

La recente e continua evoluzione del mercato dei prodotti agricoli ha evidenziato i limiti allo sviluppo dei tradizionali sbocchi delle più importanti colture. In questo ambito una nuova opportunità è offerta dalle utilizzazioni non alimentari. Si tratta di sbocchi innovativi per materie prime, sia tradizionali che di nuova costituzione, particolarmente interessanti in quanto possono rappresentare una valida risposta ai problemi economici delle imprese agricole. Infatti, in questi ultimi anni, il comparto *no food*, rappresentato essenzialmente dai derivati degli amidi, dalla bioenergia, dagli oli tecnici, dalle fibre e cellulose, dai coloranti naturali e da alcuni prodotti per la cosmesi e la farmacopea, è stato interessato da un notevole progresso tecnologico che ha significativamente migliorato i rendimenti, con conseguente riduzione dei costi. Per contro le destinazioni non alimentari hanno subito una cospicua rivalutazione da parte del mercato per cui oggi i prezzi appaiono più competitivi rispetto a quelli dei prodotti convenzionali di origine non agricola. D'altro canto lo sviluppo di queste nuove filiere produttive è sostenuto dalla politica nazionale e comunitaria, oltre che per i riflessi occupazionali del settore primario e per la valenza ambientale che queste esprimono. L'elevato contributo alla sostenibilità ambientale dello sviluppo economico è caratteristica peculiare di queste innovazioni basata sulla rinnovabilità e biodegradabilità dei loro prodotti.

Consapevole del nuovo e importante ruolo che queste soluzioni produttive rappresentano nell'attuale panorama economico e nello scenario di medio-lungo termine, la ricerca pubblica nazionale ha ritenuto indispensabile aderire e partecipare attivamente alla realizzazione dei vari Progetti che l'UE e l'allora Ministero dell'Agricoltura hanno finanziato in tre recenti decenni (EURO-BIODIESEL, Oleaginose, PRISCA, TISEN, BIOENERGIE, BIOSEA).

#### PROFILI NUTRIZIONALI E SEMAFORI

Tempo fa il Parlamento Europeo ha chiaramente espresso, a larghissima maggioranza, la sua contrarietà alla creazione da parte della Commissione Euro-



pea dei profili nutrizionali, previsti dal regolamento europeo sulle indicazioni nutrizionali e salutistiche degli alimenti (regolamento 1924/2006). Questa decisione è stata interpretata in molti ambiti e soprattutto in Italia come un rifiuto degli ormai famosi semafori inglesi che costituiscono una loro applicazione diretta. È stato dimostrato che i semafori danneggiano, svilendone la qualità, i migliori prodotti agroalimentari italiani ed europei (DOP e IGP in particolare) in vendita nel Regno Unito. In realtà il Parlamento ha voluto riconoscere lo scarso fondamento scientifico dei profili nutrizionali per risolvere i problemi crescenti di obesità, ribadendo così un giudizio già espresso dall'EFSA (Agenzia Europea per la Sicurezza Alimentare) nel 2008. In aggiunta, ha ugualmente rigettato il sistema dei semafori, nel quadro della revisione della legislazione europea, giudicandolo come sproporzionato in termini di costi/benefici. È quantomeno evidente che, attribuire caratteristiche benefiche o nefaste a questo o quell'alimento, ovvero a uno o più dei suoi componenti, senza tener conto delle quantità delle porzioni, della loro incidenza nella dieta complessiva, della frequenza delle occasioni di consumo e della presenza eventuale di patologie, non ha forte valenza scientifica. L'approccio perseguito dai profili britannici, oltre a demonizzare gli alimenti ad alta concentrazione di nutrienti (e quindi i migliori da un punto di vista nutrizionale), avrebbe l'effetto perverso di valorizzare proprio gli alimenti poveri o poverissimi di nutrienti. A titolo di esempio, nel sistema dei semafori inglesi il latte intero, l'olio di oliva e quasi tutti i formaggi sono fortemente sconsigliati mentre i prodotti di sostituzione, impoveriti o addirittura privi di quasi tutti i nutrienti, come le bevande dietetiche e i prodotti "light" o "senza..." risultano fortemente consigliati. Sulla decisione del Parlamento Europeo hanno fortemente influito gli effetti che il sistema britannico produce, specialmente a livello commerciale, effetti che da più di un anno sono sottoposti all'esame critico della Commissione di Bruxelles; come pure l'esistenza, dal 2011, di un regolamento specifico per l'etichettatura degli alimenti (regolamento 1169/2011), che già fornisce in dettaglio, tutte le informazioni necessarie al consumatore per orientare le proprie scelte. Sulla scena globale rimangono certo alcuni "scontenti" di questa decisione e fra questi è bene ricordare quei Paesi che per favorire i loro prodotti o i loro distributori, ovvero per beneficiare di entrate finanziarie supplementari, hanno fatto ricorso o hanno l'intenzione di ricorrere a tasse e accise, limitazioni alla commercializzazione o alla pubblicità di alimenti basandosi su vari sistemi di profilatura nutrizionale che alla fine alterano la leale concorrenza. Una corretta alimentazione dipende essenzialmente da due fattori principali: la quantità di cibo assunta dall'organismo e l'equilibrio fra le qualità dei nutrienti ingeriti che, per i due fattori, devono essere in relazione al reale fabbisogno individuale di uomini e donne tenendo conto del livello di attività fisica, della presenza di

stati patologici o della necessità di prevenzione degli stessi. Oggi è facile constatare che quasi nulla si fa per limitare le quantità di cibo assunto, anche in relazione al ridotto dispendio di energie dei nostri tempi, cosa che invece dovrebbe essere la principale preoccupazione per il controllo dell'obesità e di altre situazioni patologiche. Al contrario, per quanto riguarda la tipologia dei cibi, si osservano incontrollati ed eccessivi fenomeni di comunicazione, soprattutto nei nuovi media, che discettano con scarsa evidenza scientifica sulla qualità degli stessi, con la demonizzazione di nutrienti essenziali e la promozione di altri che lo sono meno e che comunque si distanziano da una sana alimentazione che deve essere varia ed equilibrata. Non va infine dimenticato che questo equilibrio va tarato da esperti, sulla base della situazione individuale di ciascuno di noi. Per la buona salute di tutti e per evitare molte delle derive mediatiche cui stiamo assistendo, è indispensabile rilanciare con vigore una corretta educazione alimentare e un corretto stile di vita, sin dalla più tenera età, soprattutto nella scuola, creando così una base di fondate informazioni che portino ogni cittadino a distinguere fra messaggi corretti e messaggi bassamente interessati.

#### ABSTRACT

*Leguminous crop proteins.* In our Country, protein crop have undergone a significant reduction since the beginning of the new millennium. Such a drastic reduction in planted areas has led, from an agronomic-environmental point of view, to an unsustainable simplification of crop rotations with serious consequences on the typical crop systems of Mediterranean agriculture. On the contrary, access to the agri-environmental subsidies requires crop rotation for farms requesting access to supplementary aid within the Rural Development Plans. It is worth mentioning that protein crops are also very suitable for "low input" itineraries. For instance, soybeans do not require specific nitrogen fertilizer, while other species perform well with minimum tillage, while others (rapeseed) with new rapid-growth hybrids, are able to assimilate important quantities of nitrates while preserving the rhizosphere from the common nutrient-loss problems. It therefore appears essential to reduce this heavy state of dependence, on the one hand by regaining space for the growing of protein crops, in particular soybean, which has undergone a significant reduction, and on the other, through a diversification of vegetable protein sources.

#### BIBLIOGRAFIA

- ANDRIGHETTO I., MOSCA G., COZZI G., BERZAGHI P. (1992): *Maize-soybean intercropping: Effect of different variety and sowing density of the legume on forage and silage quality*, «J. Agronomy and Crop Science», 168, pp. 354-360.
- BARION G., HEWIDY M., MOSCA G., VAMERALI T. (2010): *Intraspecific variability for soy-*

- bean cotyledon isoflavones in different cropping and soil conditions*, «Eur. J. Agr.», 33, pp. 63-73.
- DAYDÉ J. (1999): *Breeding of soybeans for improved proteins for human nutrition. OCL-O-leagineux, Corps Gras*, «Lipides», 6 (6), pp. 509-512.
- ELDRIGE A.C., KWOLEK F. (1983): *Soybean isoflavones: effect of environment and variety on composition*, «J. Agric. Food Chem.», 31, pp. 394-396.
- BOOTE K.J., BENNETT J.M., SINCLAIR T.R., PAULSEN G.M., cap. 19, pp. 509-532.
- TAKUJI O., HIROYUKI F., HIROYUKI Y., SAYURI T., SHINJI I., TAKASHI S., TOSHIKAZU N., NORIKUNI O., KUNI S., SATOMI I., SHU F. (2011): *Effect of Nitrate on Nodulation and Nitrogen Fixation of Soybean*, in book: *Soybean Phys. Bioch.*, 17, pp. 333-364.
- TESSARI P., LANTE A., MOSCA G. (2016): *Essential amino acids: master regulators of nutrition and environmental footprint?*, «Scientific Reports», vol. 6, 26074.
- THOMAS R. SINCLAIR (1994): *Limits to crop yield?*, in *Physiology and Determination of Crop Yield*, Book Editor(s).
- TONIOLO L., SATTIN M., MOSCA G. (1987): *Soybean-maize intercropping for forage*, «Eurosoya», 5, pp. 73-78.
- TSUKAMOTO C., SHIMADA S., IGITA K., KUDOU S., KOKUBUN M., OKUBO K., KITAMURA K. (1995): *Factors affecting isoflavone content in soybean seeds: changes in isoflavones, saponins, and composition of fatty acids at different temperatures during seed development*, «J Agr. Food Chem.», 01 May 1995, 43 (5), pp. 1184-1192.
- VAMERALI T., BARION G., HEWIDY M., MOSCA G. (2012): *Soybean isoflavone patterns in main stem and branches as affected by water and nitrogen supply*, «Eur. J. Agr.», 41, pp. 1-10.

### Altre fonti

- Centro studi di Confagricoltura
- Commissione Europea, <https://ec.europa.eu>, <https://cordis.europa.eu>. <https://ec.europa.eu/eurostat>
- EC (2020), *EU agricultural outlook for markets, income and environment, 2020-2030*.
- Commissione Europea, *Relazione della Commissione al Consiglio e al Parlamento Europeo sullo sviluppo delle proteine vegetali nell'Unione Europea*, 2018
- European Commission, DG Agriculture and Rural Development, Brussels.
- Conferenza delle Regioni e delle Province autonome, Ministero delle Politiche Agricole Forestali e Alimentari, Regione Emilia-Romagna. *Azioni di innovazione e ricerca a supporto del piano proteine vegetali*, 2008
- Areté srl, Bologna
- [www.fao.org](http://www.fao.org)
- [www.dati.istat.it](http://www.dati.istat.it)
- <https://fediol.eu>
- Veneto Agricoltura, *Utilizzo della soia integrale cruda (...)*, 2008
- [www.airc.it](http://www.airc.it)
- [www.assalzoo.it](http://www.assalzoo.it)
- [www.fefac.eu](http://www.fefac.eu)
- [www.usda.com](http://www.usda.com)

ALLEGATO IMMAGINI



Fig. 13 *Pianta di cece in fase di riempimento semi (sx) e a maturazione (dx). Noduli radicali su radice*



Fig. 14 *Fagiolo: fase riempimento baccelli*



Fig. 15 *Fava in piena fioritura, baccelli e semi*





Fig. 16 Vari tipi di seme di lenticchia di diverse dimensioni e colore



Fig. 17 Pianta di pisello a inizio fioritura e forma con foglioline parzialmente metamorfosate in cirri



Fig. 18 Pianta di arachide. Fiore colorato e baccelli portati su lunghi ginofori (specie geocarpica obbligata). Noduli radicali su radice



Fig. 19 Varietà di soia di gruppo 00 (sx), di gruppo 0 e di gruppo di maturazione I (dx). Al diminuire della precocità aumenta la statura della pianta



Fig. 20 Il seme di soia può assumere dimensione e colorazione assai diversi a seconda della varietà e della provenienza





Fig. 21 *Trattamento aereo con antiparassitari su coltivazione di soia (mese di giugno) nell'Azienda agraria Open Ground Farms in North Carolina (USA) (by Gruppo Ferruzzi, 1985)*



Fig. 22 *Confronto varietale di lupino bianco (sx) e piante a fine riempimento dei baccelli (eretti)*

VALERIA ZENI<sup>1</sup>, FILIPPO DI GIOVANNI<sup>1</sup>, GIOVANNI BENELLI<sup>1</sup>,  
ANGELO CANALE<sup>1</sup>

## C'è una larva nel mio piatto! Diffusione degli insetti nella dieta occidentale

<sup>1</sup> Dipartimento di Scienze Agrarie, Alimentari e Agro-ambientali, Università di Pisa

Con il via libera dell'EFSA (*European Food Safety Authority*) alla commercializzazione delle larve di *Tenebrio molitor*, una nuova pietra miliare si aggiunge in Europa sulla strada della ricerca dei cosiddetti “cibi del futuro”, alimenti alternativi e talvolta lontani dalla dieta dei paesi occidentali, la cui produzione si ritiene più sostenibile in termini ecologici. L'entomofagia (dal greco *éntomos*, “insetto”, e *phāgein*, “mangiare”) è una pratica diffusa nel mondo da diversi millenni e molti insetti (o animali affini, come i ragni o gli scorpioni) costituiscono un alimento comune nella dieta di circa due miliardi di persone, soprattutto nelle aree tropicali e subtropicali del globo. Attualmente, sono più di 2000 le specie di insetti riportate in letteratura come commestibili (Jongema, 2017), la maggior parte delle quali appartiene agli ordini dei coleotteri, lepidotteri, imenotteri e ortotteri (fig. 1).

Sebbene l'entomofagia sia vista ancora come un tabù nella cultura occidentale, da diversi anni ormai, la FAO (*Food and Agriculture Organization*) guarda al consumo regolare di insetti come una delle possibili soluzioni alimentari in grado di conciliare la crescita demografica, la crescente richiesta di proteine animali di qualità e il rispetto dell'ambiente. Se è vero, infatti, che entro il 2050 la popolazione globale crescerà fino a toccare i 10 miliardi di persone, è lecito aspettarsi che crescano proporzionalmente la domanda e il consumo di proteine di origine animale (Godfray et al., 2010). Secondo una stima fatta da Wu et al. (2014), nei prossimi 35 anni sarà necessario un aumento del 72% della produzione di carne per far fronte alla richiesta da parte dei consumatori, con conseguente incremento della superficie di terra destinata all'allevamento e alla coltivazione di mangimi (Röös et al., 2017). Attualmente, i sistemi zootecnici occupano almeno il 40% della superficie mondiale (Phelps & Kaplan, 2017) e contribuiscono al 19% circa delle emis-



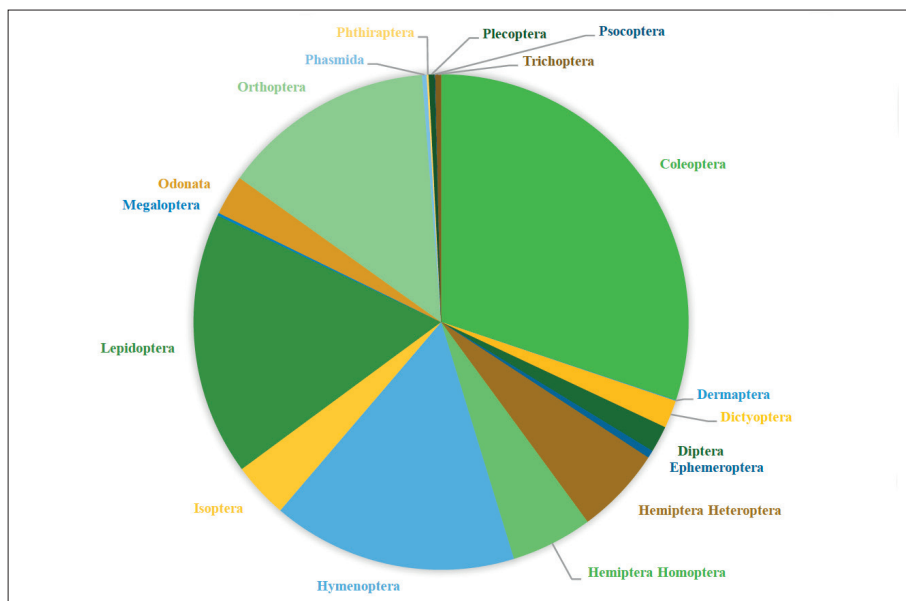


Fig. 1 *Insetti consumati a livello mondiale, divisi per ordine (secondo quanto riportato da Jongema, 2017)*

sioni di gas serra di origine antropica (Reisinger & Clark, 2017). Appare dunque evidente come il modello alimentare dei Paesi occidentali sia alla lunga insostenibile e che per soddisfare le esigenze future sia necessario rivedere le nostre abitudini alimentari, favorendo produzioni che consentano di supplire alle crescenti richieste di proteine di origine animale, senza un aumento drastico del consumo di risorse ambientali. Da questo punto di vista, gli insetti non solo potrebbero rappresentare una fonte di cibo altamente proteico e ricco di nutrienti, ma risultare anche più sostenibili in termini di sfruttamento del suolo e della risorsa idrica.

#### INSETTI E SOSTENIBILITÀ AMBIENTALE

Il punto a favore dell'introduzione degli insetti nella dieta dei paesi occidentali è dunque legato principalmente alle possibili ricadute che ciò avrebbe in termini di minore sfruttamento delle risorse ambientali. Rispetto agli animali a sangue caldo, infatti, gli insetti possono vantare un'elevata efficienza di conversione alimentare (Premalatha et al., 2011). Si stima che il tasso di conversione delle proteine in massa corporea commestibile negli insetti possa

variare dal 20% fino a quasi al 90% a seconda della specie considerata, una quota equiparabile, o in molti casi largamente superiore, a quella del pollame d'allevamento opportunamente selezionato e alimentato con diete ottimizzate (van Huis & Oonincx, 2017). A ciò va aggiunto che un numero considerevole di insetti, come la mosca soldato (*Hermetia illucens*), la mosca domestica (*Musca domestica*) o il verme della farina (*Tenebrio molitor*), sono in grado di crescere su rifiuti organici, bio-convertendo gli scarti degli allevamenti zootecnici e dell'agricoltura in un prodotto ad alto contenuto proteico (van Huis & Oonincx, 2017). Anche le emissioni dei gas serra, così come il consumo di acqua derivanti dall'allevamento di insetti, sembrano essere molto più bassi se paragonati all'allevamento di bestiame. Secondo la FAO (2014), in seguito all'aumento della domanda di carne, le emissioni di gas serra provenienti dagli allevamenti zootecnici potrebbero crescere fino al 39% entro il 2050. Negli insetti solo alcune specie come termiti, scarabei e blatte producono metano ( $\text{CH}_4$ ) come risultato dei processi metabolici associati a batteri simbiotici presenti nel loro intestino, mentre i gas serra emessi, ad esempio, da locuste e vermi della farina sono fino a 100 volte inferiori a quelli del bestiame (Oonincx et al., 2010). Infine, il quantitativo di acqua necessaria per la produzione di 1 kg di proteine da insetti è, seppur non stimabile con precisione, decisamente inferiore a quello necessario per ottenere lo stesso quantitativo di proteine da carne animale.

Da un punto di vista nutrizionale, gli insetti hanno un elevato contenuto proteico (13-77% della sostanza secca, a seconda della specie) e sono in grado di fornire tutti gli amminoacidi essenziali per la salute umana. Presentano acidi grassi mono- e polinsaturi (MUFA e PUFA), omega-3 e omega-6, vitamine del gruppo B (B12, B2 e B1 principalmente) e sono ricchi di minerali e di elementi essenziali quali rame, ferro, zinco, magnesio, selenio, fosforo e manganese (Xiaoming et al., 2010; Belluco et al., 2013). La chitina dell'esoscheletro, infine, anche se non digeribile, potrebbe avere un effetto probiotico sulla flora batterica intestinale (Lopez-Santamarina et al., 2020).

#### CONSUMO DI INSETTI E SICUREZZA ALIMENTARE

Sebbene l'integrazione degli insetti nella nostra dieta comporti dunque degli evidenti vantaggi in termini nutraceutici e ambientali, l'entomofagia non è priva di rischi. Così come per molti cibi ad alto contenuto proteico, anche gli insetti possono causare reazioni allergiche negli esseri umani. L'allergia alimentare agli insetti è stata descritta per diverse specie, così come per alcuni loro derivati. La potenziale allergenicità degli insetti sembra risiedere in alcu-

ne sostanze come la tropomiosina e l'arginina-chinasi, due pan-allergeni già conosciuti per la loro reattività incrociata con le proteine omologhe presenti nei crostacei e negli acari della polvere (de Gier & Verhoeckx, 2018). Va inoltre considerato che gli insetti, come molti altri organismi, possono fungere da bio-accumulatori di contaminanti presenti sul substrato su cui crescono, incluse sostanze potenzialmente tossiche per l'uomo come alcuni metalli pesanti (Meyer et al., 2021). Sebbene il rischio sia sicuramente maggiore per insetti raccolti in natura, è un aspetto questo di cui tener conto nella costituzione di un allevamento.

Dal punto di vista della possibile trasmissione di patogeni o parassiti all'uomo, gli insetti non sono stati sufficientemente testati per determinare il rischio di possibili trasmissioni per la loro ingestione. Nessun insetto, tuttavia, parassitizza l'uomo per via trofica (Di Giovanni et al., 2021) e, data la distanza filogenetica che intercorre tra l'uomo e gli insetti, il rischio di infezioni zoonotiche legate al passaggio di un parassita da un insetto all'uomo per ingestione appare molto basso. D'altra parte, gli insetti sono tra i principali vettori di alcune tra le più diffuse e gravi malattie zoonotiche (Di Giovanni et al., 2021), e non bisogna sottovalutare che l'eventuale mancanza di salubrità nell'ambiente d'allevamento, unita al contatto diretto con l'uomo, potrebbe aumentare il rischio di diffusione di infezioni (FAO, 2014).

#### GLI INSETTI COME CIBO NELLA SOCIETÀ OCCIDENTALE: TRA TRADIZIONI ANTICHE E DISGUSTO

Nonostante tutti questi benefici, l'accettazione da parte dei consumatori rimane una delle maggiori barriere all'introduzione degli insetti nelle diete occidentali. La storia insegna, tuttavia, che i modelli alimentari cambiano rapidamente, ancor di più in un mondo globalizzato. Nella maggior parte dei paesi occidentali, l'entomofagia è vista oggi con un "sentimento di disgusto", le persone provano ribrezzo al pensiero di consumare insetti e tendono a considerarlo un comportamento primitivo.

Il consumo di insetti da parte dell'uomo è pratica documentata fin dalla preistoria (Tommaseo-Ponzetta, 2005), e gli artropodi costituiscono una parte rilevante della dieta di numerosi popoli, soprattutto nelle fasce tropicali e subtropicali (Paoletti, 2005; FAO, 2014). In alcune culture, gli insetti ricoprono un ruolo talmente rilevante nella quotidianità da essere visti non solo come fonte di cibo, ma da permeare vari aspetti della cultura e della società. Ne è un esempio ciò che avviene nelle tribù Adi dell'Arunachal Pradesh in

India, dove gli insetti, oltre che come alimento, sono protagonisti di canzoni e storie, presagi di sventura o oggetti di intrattenimento e perfino rimedi della medicina tradizionale (Megu et al., 2018). Nelle zone tropicali, gli insetti costituiscono un'enorme fetta della biodiversità degli ecosistemi terrestri e rappresentano dunque per molti popoli una fonte di proteine largamente diffusa, presente praticamente tutto l'anno e di facile reperibilità. Nelle zone temperate, al contrario, gli insetti presentano cicli stagionali marcati e sono quasi totalmente assenti nei mesi più freddi. Ciò, tuttavia, non costituisce necessariamente un impedimento al loro impiego nell'alimentazione umana. È il caso degli Inuit, popolo della zona circumpolare, che si nutrono tradizionalmente delle larve di estridi che infestano le cavità naso-faringee dei caribù, e per i quali questi insetti costituiscono un'importante fonte di grassi e proteine in una zona con scarsa disponibilità di alimenti (Ferreira et al., 2018).

Se dunque gli insetti sono da sempre parte della dieta umana e tuttora costituiscono una porzione rilevante dell'alimentazione di molti popoli, perché il loro impiego è così scarso o del tutto assente nel mondo occidentale? Oggi, nella maggior parte dei Paesi industrializzati il consumo di insetti è limitato a pochi prodotti derivati, come il miele o la pappa reale, o relegato ad alcune pratiche poco usuali e molto localizzate (ad esempio, il *casu marzu* sardo). Tra i fattori storici alla base di questo cambiamento nel paradigma alimentare dei paesi occidentali c'è sicuramente la cosiddetta "rivoluzione Neolitica", il passaggio cioè dal nomadismo alla stanzialità coincidente con lo sviluppo dell'agricoltura. Nel nuovo mondo agricolo, gli insetti sono passati dall'essere considerati fonti di cibo ad organismi dannosi per la produzione di altre fonti alimentari (Tommeseo-Ponzetta 2005). Contemporaneamente, lo sviluppo dell'allevamento di bestiame ha permesso all'uomo di ottenere una nuova fonte di proteine facilmente disponibile, ma in grado anche di fornire altri prodotti commercializzabili come latte, cuoio e pellicce. La conclusione di questo processo si ha infine nella graduale urbanizzazione, che riducendo il contatto tra uomo e natura, ha portato a considerare gli insetti, fatte salve poche eccezioni come api o coccinelle, come qualcosa da scacciare, fonte di malattie o di danno economico.

A livello europeo, già dal 2015 l'EFSA si è dimostrata favorevole al consumo di insetti, esprimendo però la necessità di effettuare ulteriori studi in merito ai potenziali rischi microbiologici, chimici e ambientali. Nello stesso anno, il Regolamento Europeo (CE) 2015/2283, entrato in vigore il 1° gennaio 2018, ha riconosciuto gli insetti come *novel food* e ha abbreviato l'iter per l'approvazione di tutte quelle specie che sono considerate cibo tradizionale e consumate da almeno 25 anni in paesi extra-europei. Arriviamo dunque



Fig. 2 Insetti in vendita in un mercato thailandese (fotografie di Alexey Reshchikov)

alla notizia più recente, ossia il via libera da parte dell'EFSA al consumo alimentare di *Tenebrio molitor*, che potrebbe essere solo il primo di numerosi *novel food*, alla luce del fatto che l'EFSA sta attualmente vagliando altre undici richieste di valutazione per la sicurezza dell'impiego di insetti per l'alimentazione umana.

Quest'ultima notizia rappresenta un passo enorme verso il consumo di insetti da parte dell'uomo, ma allora cosa ci limita? Appare dunque chiaro come gli insetti rappresentino un'alternativa ecosostenibile agli allevamenti intensivi, garantendo al contempo l'accesso a una fonte proteica di alta qualità da parte di un maggior numero di persone. Non ci resta, quindi, che abbattere il muro del "disgusto" e andare oltre le sovrastrutture culturali che ci portano a pensare agli insetti come organismi nocivi e portatori di malattie. Tuttavia, è impensabile che ciò possa avvenire in maniera repentina in un Paese come l'Italia che ha fatto del cibo una parte rilevante della propria identità. Scene come quelle dei mercati asiatici con insetti esposti su bancarelle pronti alla vendita, sono molto lontane dalla nostra cultura e contribuiscono a innalzare ancora di più il muro del disgusto (fig. 2). In questa cornice, il successo dell'introduzione degli insetti nella dieta mediterranea è molto probabilmente strettamente legato al modo in cui gli insetti saranno presentati. Il consumatore potrebbe essere maggiormente predisposto verso il loro consumo se camuffati in una pietanza anziché presentati nella loro interezza. Questo processo potrebbe iniziare con l'introduzione graduale dei loro derivati, come ad esempio le farine, già utilizzate nei processi di panificazione in altri Paesi.

## ABSTRACT

*There is a larva in my plate! Spread of insects in the Western diet.* Insects are commonly eaten by more than two billion people around the world. EFSA's recent approval of *Tenebrio molitor* larvae as food paves the way for insect consumption in the European Union. The introduction of insects as food in the diet of Western countries could be an environmental-friendly solution to the growing demand for animal proteins over intensive farming. Despite advances in legislation and food safety, there is still a cultural barrier to be overcome, which still considers insects as organisms harmful to agriculture and humans.

## BIBLIOGRAFIA

- BELLUCO S., LOSASSO C., MAGGIOLETTI M., ALONZI C.C., PAOLETTI M.G., RICCI A. (2013): *Edible insects in a food safety and nutritional perspective: a critical review*, «Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety», 12, pp. 296-313.
- DI GIOVANNI F., WILKE A.B.B., BEIER J.C., POMBI M., MENDOZA-ROLDAN J.A., DESNEUX N., CANALE A., LUCCHI A., DANTAS-TORRES F., OTRANTO D., BENELLI G. (2021): *Parasitic strategies of arthropods of medical and veterinary importance*, «Entomologia Generalis», early view.
- FAO (2014): Corporate Document Repository, Food and Agriculture Organization of United Nations, Rome.
- FERREIRA M.P., CUERRIER A., GIROUX M., NORTON C.H. (2018): *Insect consumption in the Arctic*, in HALLORAN A., FLORE R., VANTOMME P., ROOS N. (eds.), *Edible insects in sustainable food systems*, Springer, Cham., pp. 19-33.
- DE GIER S., VERHOECKX K. (2018): *Insect (food) allergy and allergens*, «Molecular Immunology», 100, pp. 82-106.
- GODFRAY H.C.J., BEDDINGTON J.R., CRUTE I.R., HADDAD L. (2010): *Food security: the challenge of feeding 9 billion people*, «Science», 327, pp. 812-818.
- VAN HUIS A., OONINCX D.G.A.B. (2017): *The environmental sustainability of insects as food and feed. A review*, «Agronomy for Sustainable Development», 37, 43.
- JONGEMA Y. (2017): *Worldwide list of recorded edible insects*, Available at <https://www.wur.nl/>
- LOPEZ-SANTAMARINA A., MONDRAGON A.d.C., LAMAS A., MIRANDA J.M., FRANCO C.M., CEPEDA A. (2020): *Animal-Origin Prebiotics Based on Chitin: An Alternative for the Future? A Critical Review*, «Foods», 9, 782.
- MEYER A.M., MEIJER N., HOEK-VAN DEN HILL E.F., VAN DER FELS-KLERX H.J. (2021): *Chemical food safety hazards of insect reared for food and feed*, «Journal of Insect as Food and Feed», 0, pp. 1-10.
- MEGU K., CHAKRAVORTY J., MEYER-ROCHOW V.B. (2018): *An ethnographic account of the role of edible insects in the Adi tribe of Arunachal Pradesh, north-east India*, in HALLORAN A., FLORE R., VANTOMME P., ROOS N. (eds.), *Edible insects in sustainable food systems*, Springer, Cham., pp. 35-54.
- OONINCX D.G., VAN ITTERBEECK J., HEETKAMP M.J., VAN DEN BRAND H., VAN LOON J.J., VAN HUIS A. (2010): *An exploration on greenhouse gas and ammonia production by insect species suitable for animal or human consumption*, «PLoS One», 5 (12), e14445.

- PAOLETTI M.G. (2005): *Ecological implications of minilivestock: potential of insects, rodents, frogs and snails*, Enfield, N.H., Science Publisher, 662 pp.
- PHELPS L.N., KAPLAN J.O. (2017): *Land use for animal production in global change studies: defining and characterizing a framework*, «Global Change Biology», 23, pp. 4457-4471.
- PREMALATHA M., ABBASI T., ABBASI T., ABBASI S.A. (2011): *Energy-efficient food production to reduce global warming and ecodegradation: the use of edible insects*, «Renewable & Sustainable Energy Reviews», 15 (9), pp. 4357-4360.
- REISINGER A., CLARK H. (2017): *How much do direct livestock emissions actually contribute to global warming?*, «Global Change Biology», 24, pp. 1749-1761.
- RÖÖS E., BAJŽELJ B., SMITH P., PATEL M., LITTLE D., GARNETT T. (2017): *Protein futures for Western Europe: potential land use and climate impacts in 2050*, «Regional Environmental Change», 17, pp. 367-377.
- TOMMASEO-PONZETTA M. (2005): *Insects: Food for Human Evolution*, in PAOLETTI M.G. (ed), *Ecological implications of minilivestock: potential of insects, rodents, frogs and snails*, Enfield, N.H., Science Publisher, pp. 141-161.
- WU G., BAZER F.W., CROSS H.R. (2014): *Land based production of animal protein: impacts, efficiency, and sustainability*, «Annals of the New York Academy of Sciences», 1328 (1), pp. 18-28.
- XIAOMING C., YING F., HONG Z., ZHIYONG C. (2010): *Review of the nutritive value of edible insects*, in DURST P.B., JOHNSON D.V., LESLIE R.L., SHONO K. (eds.), *Forest insects as food: humans bite back, proceedings of a workshop on Asia-Pacific resources and their potential for development*, Bangkok, FAO Regional Office for Asia and the Pacific.

