

I GEORGOFILI



L'ACCADEMIA PER IL POST COVID-19

Supplemento agli Atti dei Georgofili 2020



EDIZIONI POLISTAMPA

Con il contributo di



FONDAZIONE
CR FIRENZE

Copyright © 2021
Accademia dei Georgofili
Firenze
<http://www.georgofili.it>

Proprietà letteraria riservata

Supplemento a «I Georgofili. Atti della Accademia dei Georgofili»
Anno 2020 - Serie VIII - Vol. 17 (196° dall'inizio)

Direttore responsabile: Paolo Nanni

Edizioni Polistampa
Via Livorno, 8/32 - 50142 Firenze
Tel. 055 737871 (15 linee)
info@polistampa.com - www.polistampa.com
Sede legale: Via Santa Maria, 27/r - 50125 Firenze

ISBN 978-88-596-2167-6

Servizi redazionali, grafica e impaginazione
SOCIETÀ EDITRICE FIORENTINA

Indice

Presentazione di M. Vincenzini pag. 9

ANTOLOGIA DELLE INNOVAZIONI PER L'AGRICOLTURA

ALLEVAMENTI E PRODUZIONI ANIMALI

F. SIRTORI, S. PARRINI, R. BOZZI, M. MANCINI, A. MESSERI, S. ORLANDINI,
*Zootecnia di precisione e stress termico. Sistemi di precisione in supporto
all'allevamento bovino da latte per far fronte ai cambiamenti climatici* » 15

BIOSTIMOLANTI E BIOFERTILIZZANTI

T. VAMERALI, C. DAL CORTIVO, G. MOSCA, *Biostimolanti microbici: una op-
portunità per accrescere la sostenibilità delle colture erbacee di pieno campo*.. » 25

CEREALI

L. GAZZA, L. CATTIVELLI, *Grano monococco: varietà NORBERTO e HAM-
MURABI*..... » 33
G. MOSCA, A. ALPI, D. PIOVAN, *Agricoltura di precisione applicata ai cereali.
La mappatura dei terreni*..... » 38
G. MOSCA, A. ALPI, D. PIOVAN, *La concimazione azotata a rateo variabile in
frumento* » 42
A. FERRERO, *Sostenibilità della produzione risicola in Italia (1)*..... » 49
A. FERRERO, *Sostenibilità della produzione risicola in Italia (2)*..... » 54

COLTURE INDUSTRIALI

L. BARBANTI, G. MOSCA, G. CAMPAGNA, P. STEVANATO, *Barbabietola da zuc-
chero. Agronomia e coltivazione* » 69
A. LANTE, P. TESSARI, G. MOSCA, *Innovare con la soia*..... » 73
G. MOSCA, A. ALPI, *Soia: carta della coltivabilità*..... » 77

DIFESA DELLE PIANTE

L. RUBINO, B. NAVARRO, F. DI SERIO, *Sequenziamento ad alta prestazione per
la diagnosi di patogeni delle piante: dal laboratorio al pieno campo*..... » 87
E. GONELLA, A. ALMA, *La perturbazione delle simbiosi microbiche per la lotta
simbiontistica alla cimice asiatica «Halyomorpha halys»* » 90
S. BOTTI, M. CARDONI, M. PANCALDI, C. RATTI, *Diagnosi delle malattie
delle piante mediante Digital Droplet Pcr*..... » 94
M. COLOMBO, S. MASIERO, S. VEZZULLI, P. PESARESI, *Sviluppo di fitofarmaci
innovativi, a basso impatto ambientale e ridotta tossicità*..... » 98
P. MELIS, B. MEZZETTI, *Robot UV per controllare l'oidio e la botrite in fragola*.. » 101
G. FIRRAO, *Predizione delle contaminazioni da micotossine mediante analisi di
immagine*..... » 104

M. TROGGIO, L. BIANCO, R. VELASCO, <i>SNP array: genotipizzazione ad alta resa per il breeding assistito nelle specie arboree da frutto</i>	»	109
ENOLOGIA		
V. GERBI, <i>Enologia: produrre vini a basso tenore di solfiti</i>	»	115
FRUTTICOLTURA		
P. PICCAROLO, M. VIERI, <i>Digitalizzazione colture arboree</i>	»	123
V. POMPILI, L. DALLA COSTA, S. PIAZZA, M. MALNOY, <i>Impiego della tecnologia CRISPR/Cas9-FLP/FRT per rendere coltivari di melo meno suscettibili al colpo di fuoco batterico</i>	»	127
G. CARACCILOLO, S. SIRRI, G. BARUZZI, <i>Nuove cultivar e selezioni di pero a buccia rossa e polpa rossa</i>	»	130
G. BARUZZI, P. SBRIGHI, M. PIETRELLA, M. L. MALTONI, <i>Le fragole aromatiche</i>	»	136
G. DE MORI, R. TESTOLIN, G. CIPRIANI, <i>Sviluppo di marcatori molecolari per la selezione di genere in actinidia</i>	»	139
M. CARUSO, P. CARUSO, C. LICCIARDELLO, G. RUSSO, <i>Nuove varietà di agrumi del CREA, e nuove strategie di valorizzazione delle innovazioni di prodotto</i>	»	141
D. GIOVANNINI, S. SIRRI, M. CUTULI, <i>Le pesche stony-hard: lunga tenuta sull'albero e resistenza alle manipolazioni</i>	»	144
D. GIOVANNINI, S. SIRRI, M. L. MALTONI, <i>Pesche e nettarine a polpa rossa: un'innovazione ricca di antiossidanti</i>	»	147
A. POLVERARI, E. VANDELLE, <i>Identificazione di composti non battericidi ad azione inibitoria sulla patogenicità dell'agente del cancro batterico del kiwi, «Pseudomonas syringae» pv. «actinidiae»</i>	»	150
B. MEZZETTI, F. CAPOCASA, <i>Nuove varietà di fragola rilasciate dal programma di miglioramento genetico fragola attivo presso il Dipartimento di scienze agrarie, alimentari ed ambientali – Università Politecnica delle Marche – Ancona</i>	»	152
L. FRUSCIANTE, G. BILE, <i>Innovazione di prodotto: i nuovi ibridi di pomodoro da industria costituiti in Italia</i>	»	156
D. BASSI, S. FOSCHI, M. CIRILLI, L. ROSSINI, <i>Valorizzazione delle risorse genetiche frutticole per qualità del frutto e la resistenza alle avversità. Costituzione di nuove cultivar di albicocco e pesco</i>	»	163
C. GRASSI, M. MANCINI, S. ORLANDINI, <i>Monitoraggio ambientale e l'apicoltura di precisione</i>	»	166
C. BENELLI, A. DE CARLO, M. LAMBARDI, <i>Innovazione nella micropropagazione commerciale: la coltura liquida in immersione temporanea</i>	»	170
MECCANICA E MECCANIZZAZIONE		
P. PICCAROLO, D. MONARCA, <i>Macchine e impianti per l'orticoltura</i>	»	181
OLIVICOLTURA		
M. MORIONDO, <i>DROLIVE: piattaforma informatica web di gestione dati per agricoltura di precisione sull'olivo</i>	»	189

TECNICHE AGRONOMICHE

- L. SARTORI, F. MARINELLO, *Le innovazioni offerte dalle tecnologie digitali nelle lavorazioni del terreno* » 195
- P. MANNINI, G. CHIARI, *Irriframe: gestione dell'irrigazione tramite consiglio irriguo personalizzato* » 202
- P. TOSCANO, *AGROSAT la piattaforma web open per la community Agricoltura 4.0* » 207
- E. MARGHERITI, *Una tecnologia innovativa per la pre-coltivazione di piantine forestali, con possibili sviluppi anche nel campo della agricoltura* » 213

TECNOLOGIE ALIMENTARI

- E. MARCONI, M. CARCEA, *Proposta per la Filiera cerealicola, sezione trasformazione* » 223
- M. D'IMPERIO, P. SANTAMARIA, F. SERIO, *Dalla biofortificazione l'alimentazione personalizzata* » 226

TRACCIABILITÀ DI PRODOTTO

- P. BOCCACCI, C. PAGLIARANI, I. PERRONE, G. GAMBINO, *La tracciabilità genetica di mosti e vini mediante «SNP genotyping»* » 233

VITICOLTURA

- S. F. DI GENNARO, A. MATESE, *Applicazioni di viticoltura di precisione da piattaforma UAV in Viticolture di Precisione* » 239
- S. DI MARCO, L. MUGNAI, *Il «trichoderma», un microrganismo al servizio della viticoltura* » 245
- A. LUCCHI, *Condividere per innovare: un'esperienza di successo nei vigneti del litorale toscano* » 250
- L. BRANCADORO, G. DE LORENZIS, D. BIANCHI, O. FAILLA, A. SCIENZA, *Costituzione e selezione di nuovi portainnesti di vite* » 255
- G. CIPRIANI, E. PETERLUNGER, R. TESTOLIN, *Varietà resistenti alle più comuni malattie fungine in vite* » 258
- S. ZENONI, A. AMATO, E. D'INCA, M. PEZZOTTI, G. BATTISTA TORNIELLI, *Biomarcatori per il controllo del processo di appassimento post-raccolta dell'uva* » 261

ALTRI CONTRIBUTI

ALLEVAMENTI E PRODOTTI ANIMALI

- C. AQUILANI, G. ARGENTI, E. BELLINI, R. BOZZI, A. CONFESSORE, M. MORIONDO, L. NANNUCCI, G. PADOVAN, C. PUGLIESE, N. STAGLIANÒ, C. DIBARI, *La gestione degli animali al pascolo attraverso l'agricoltura di precisione* » 269

FORESTE E VERDE URBANO

- M. BIZZOTTO, *La tutela del bosco: dall'esperienza del Corpo Forestale dello Stato la nuova sfida per i Carabinieri Forestali* » 279
- C. VETTORI, C. GAROSI, D. TRAVAGLINI, D. PAFFETTI, *Integrare i principi della genetica adattativa e la selvicoltura: un sistema di risposta ai cambiamenti climatici* » 284

FRUTTICOLTURA E ORTICOLTURA

P. RANALLI, *Varietà di fagiolo nano e di patata con buone caratteristiche quantitativo-qualitative*..... » 293

GENETICA E BIOTECNOLOGIE

L. FRUSCIANTE, G. BILE, *Il pomodoro: protagonista in tavola e capostipite dell'industria conserviera meridionale*..... » 303

MECCANICA E MECCANIZZAZIONE

B. MARANGONI, *Meccanizzazione integrale per alcune specie da frutto destinate all'industria*..... » 313

RIFLESSIONI

G. MOSCA, T. VAMERALI, *La metà nascosta*..... » 319

RISORSE NATURALI

M. NUTI, *Gli invisibili in agricoltura*..... » 327

M. PAGLIAI, M. MASTRORILLI, *Acqua e agricoltura*..... » 342

F. P. VACCARI, A. POZZI, *BIOCHAR in agricoltura* » 353

A. BEVIVINO, A. SONNINO, L. ROSSI, *Il microbioma dell'agro-ecosistema al servizio della produzione primaria*..... » 357

S. BENVENUTI, M. MAZZONCINI, G. FLAMINI, P.L. CIONI, *Erbicidi naturali per una gestione sostenibile di ecosistemi antropizzati* » 375

Elenco degli autori..... » 381

Presentazione

A fronte dell'emergenza sanitaria da COVID-19 e delle conseguenti difficoltà socio-economiche, l'Accademia dei Georgofili ha tempestivamente avviato uno specifico 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, ha preso il nome di "L'Accademia per il *post* COVID-19" ed è stata suddivisa in due sezioni: "Antologia delle innovazioni per l'agricoltura" e "Altri contributi".

L'*Antologia*, cui tutti gli accademici sono stati 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 raggruppati 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 raccolte innovazioni di prodotto o di processo elaborate dalla comunità scientifico-agraria italiana.

Nel campo *Altri contributi*, trovano spazio documenti monotematici che, in qualche occasione, rappresentano veri e propri documenti di importante

riflessione su comparti produttivi, o su risorse fondamentali per l'agricoltura, 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.

Nel presente volume, supplemento al volume degli Atti 2020, sono raccolti tutti i contributi divulgati nel corso del 2020 attraverso l'iniziativa "L'Accademia per il *post* COVID-19".

A tutti gli autori e agli accademici che si sono impegnati nell'attività di referaggio va il più vivo ringraziamento da parte dell'Accademia dei Georgofili.

Massimo Vincenzini

L'ACCADEMIA PER IL POST COVID-19

Antologia delle innovazioni per l'agricoltura

Allevamenti e produzioni animali

F. SIRTORI¹, S. PARRINI¹, R. BOZZI¹, M. MANCINI², A. MESSERI²,
S. ORLANDINI²

Zootecnia di precisione e stress termico. Sistemi di precisione in supporto all'allevamento bovino da latte per far fronte ai cambiamenti climatici

¹ DAGRI – Università degli Studi di Firenze

² Fondazione Clima e Sostenibilità

Nonostante le incertezze sulla variabilità climatica, il quinto rapporto di valutazione dell'Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) ha identificato la “probabile gamma” di aumento di temperatura superficiale media globale per il 2100, che è compresa tra 0,3°C e 4,8°C (IPCC, 2013). I potenziali impatti sulla zootecnia che questo cambiamento potrebbe portare riguardano principalmente le performance di crescita e produzione di latte (Henry et al., 2012), la comparsa di malattie (Nardone et al., 2010) e la riproduzione (Nardone et al., 2010).

Il comparto dei bovini da latte ha fatto progressi significativi dal punto di vista genetico, allevatorio e gestionale e sono disponibili interessanti studi sull'impatto di diversi sistemi di raffrescamento sul comportamento delle bovine da latte in allevamenti italiani (Calegari et al., 2012, 2014, 2016). Nondimeno, il fenomeno dei cambiamenti climatici continua a rappresentare una sfida aperta e l'aumento di temperature estreme contribuisce a un peggioramento delle condizioni di salute e benessere (Henry et al., 2012) degli animali. Le vacche in produzione producono una grande quantità di calore, data l'elevata quantità di latte prodotta, il cui eccesso deve essere disperso nell'ambiente (Radon et al., 2014). Alte temperature ed elevate umidità relative dell'aria rendono quest'ultimo processo difficile, portando a un aumento della temperatura corporea dell'animale (Allen et al., 2015). Un flusso eccessivo di energia (in forma di calore) nel corpo, in aggiunta allo sforzo energetico richiesto per la produzione di latte e la crescita/mantenimento (Ferrell e Jenkins, 1985) possono condurre a problemi di salute e di benessere per l'animale (Mader et al., 2006), a meno che lo stesso non attivi meccanismi adattivi per ridurre il calore prodotto o per aumentare il flusso di questo verso l'esterno. Questi possono riguardare un aumento della frequenza respiratoria,

polipnea, sudorazione, diminuzione dell'assunzione di cibo, tutte strategie che comportano peraltro una riduzione sia della produzione di latte sia delle performance riproduttive (Havlin e Robinson, 2015).

Le condizioni ambientali che portano allo stress da calore sono rilevabili utilizzando vari indici biometeorologici. Più di 170 sono gli indici sviluppati nell'ambito della biometeorologia umana per valutare comfort/discomfort termico da caldo e da freddo e un buon numero di essi potenzialmente può trovare applicazione anche nella valutazione delle condizioni di stress termico degli animali. Tra gli indici, il più utilizzato è senza dubbio il THI (*Temperature Humidity Index*) che combina i valori di umidità e temperatura per fornire delle scale di rischio. Studi recenti evidenziano come nel 2040 si registrerà un deciso incremento di tale indice nelle regioni che si affacciano sul mar Mediterraneo, in particolare Francia meridionale, Italia, Spagna e Grecia, e in parte dell'Europa Centrale. Sebbene sia variabile in base alla razza e all'età, le condizioni di temperatura ambientale più appropriate per le vacche da latte sono tra i 13 e i 18 °C, con 60-70% di umidità relativa, radiazione solare di livello moderato e una velocità del vento di 5-8 km/h (West, 2003). Eccedendo da questo range un ipotetico aumento della temperatura dell'aria fino a circa 25-26 °C può comportare un calo della produzione di latte, un cambiamento del comportamento dell'animale (Angrecka and Herbut, 2017) e un'influenza negativa sulla sua fertilità.

Come per l'agricoltura, anche nella zootecnia si stanno applicando tecniche di gestione più fini del processo produttivo, per arrivare al controllo (su alimentazione, salute, prestazioni) più mirato dell'individuo anziché del gruppo di animali allevati. Si sta sviluppando, quindi, un settore che viene chiamato "zootecnia di precisione" (*Precision Livestock Farming* – PLF), vale a dire un insieme di tecniche di controllo basate su un impiego intensivo e mirato delle ICT (*Information and Communication Technologies*), a sua volta identificabili come "zootecnia digitale". Queste nuove tecniche possono dare un'opportunità di affrontare le nuove sfide del mercato tramite il miglioramento dell'efficienza aziendale arrivando a:

- migliorare la gestione delle risorse (riduzione dei costi e degli sprechi);
- migliorare il benessere animale;
- rendere più agevole la tracciabilità dei prodotti;
- aumentare la sostenibilità ambientale.

La PLF è stata sviluppata e applicata per migliorare la salute e di conseguenza il benessere degli animali prevedendo l'utilizzo di tecnologie (telecamere, termocamere, sensori vari, ecc.) in grado di misurare variabili e

registrare dati di interesse per ottenere informazioni utili a prendere decisioni. La comparazione dei risultati con un modello di riferimento consente di determinarne la rispondenza e quindi agire di conseguenza e, se necessario, con retroazioni correttive. Questo permette l'individuazione anticipata, ancor prima della comparsa, di problemi di varia natura a seconda dello scopo del sensore e quindi intraprendere rapidamente azioni di gestione per quanto riguarda:

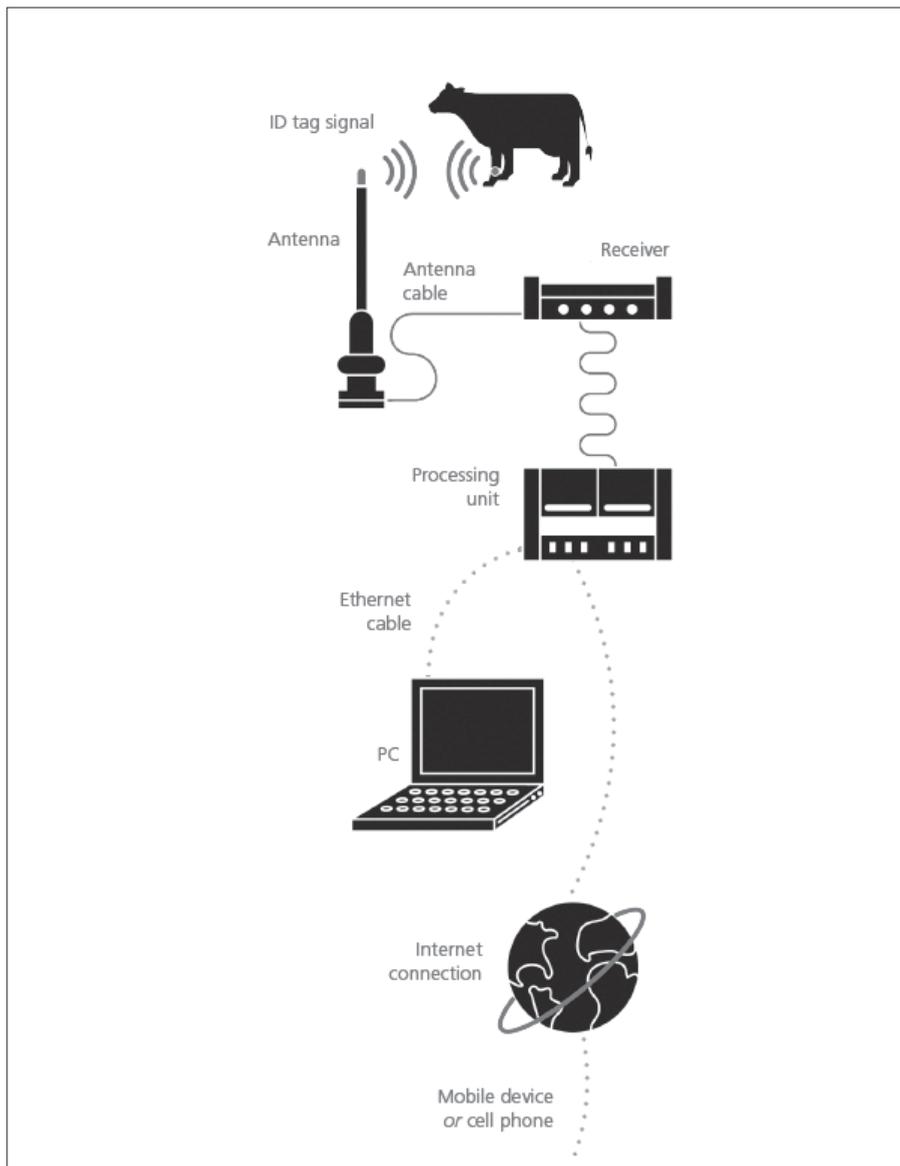
- patologie;
- scarso benessere;
- input e output dei nutrienti;
- qualità dell'alimentazione;
- fasi riproduttive.

L'APPLICAZIONE ALLE BOVINE DA LATTE

Nelle bovine da latte, il comportamento alimentare e il movimento possono essere costantemente monitorati tramite sensori apposti su collari o su marche auricolari che registrano i fenomeni comportamentali del soggetto. Questi parametri possono essere un chiaro indicatore del benessere e in particolare il tempo di ruminazione può subire una riduzione a causa di stress, ansia, malattia (Tullo, 2019). Identificare precocemente i momenti critici e le problematiche di salute degli animali è di particolare importanza per una migliore gestione della mandria (riduzione periodi improduttivi e maggior prodotto realizzato) e per un minor impiego di farmaci e trattamenti necessari per combattere una patologia. L'allevatore, tramite le informazioni inviate dal collare al pc, tablet o smartphone sarà in grado di effettuare un tempestivo intervento non sempre eseguibile in condizioni standard dove invece è necessario l'accertamento visivo dell'esistenza del problema. L'automazione può inoltre portare un vantaggio significativo all'allevatore in fatto di ore di lavoro utili per svolgere altre mansioni in quanto permette di non presiedere in continuo di persona al controllo visivo degli animali essendo allertato dalle apparecchiature via messaggi sul proprio *device*, sullo stato di ogni singolo animale e di avere tutti i dati utili registrati autonomamente in report di facile lettura e archiviazione. L'apparecchiatura, essendo compatibile con diverse soluzioni tecnologiche applicabili in una stalla di bovine da latte, può essere raccordata ad altre attrezzature come ventilatori, sale di mungitura automatizzate, cancelli automatici attivabili in automatico proprio dalle informazioni derivanti dai collari che in base alle registrazioni possono attivare e regolare una o l'altra

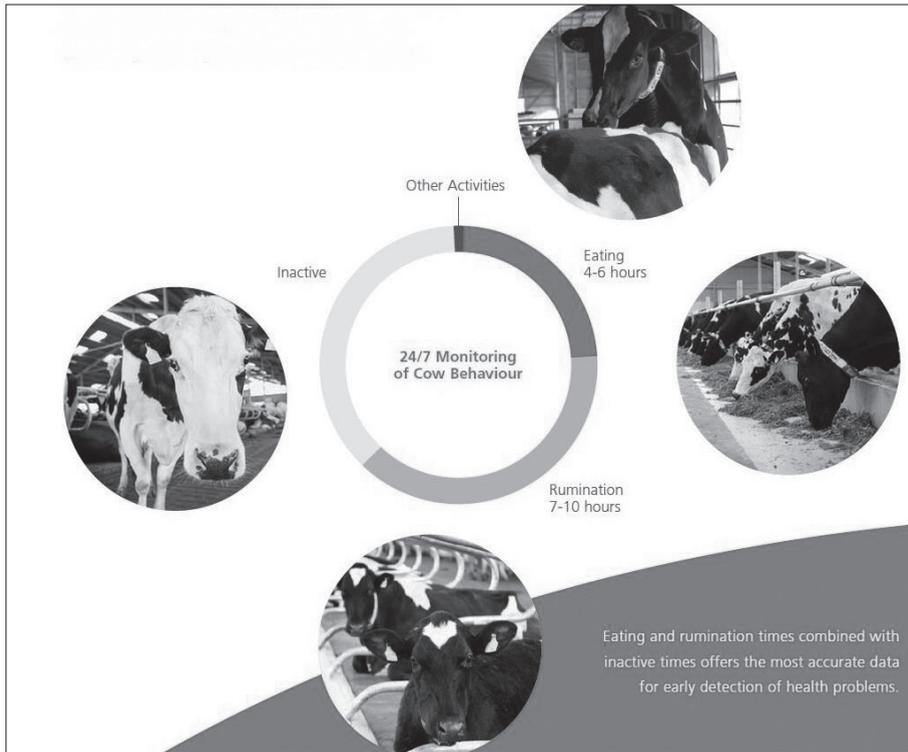


apparecchiatura per ogni singolo animale. Gli attuali sistemi di monitoraggio del comportamento sono comunemente composti da una combinazione di sensori montati su ciascun animale (accelerometri, magnetometro, giroscopio, bussola, GPS, pressione e microfono) che trasmettono a una centralina corredata di router che a sua volta invia l'informazione al software gestionale che tramite algoritmi elabora i dati grezzi fornendo all'allevatore un input di allerta per diverse situazioni (presenza di calori, stress, malattie) così da intervenire appunto precocemente.



UN ESEMPIO NELL'AMBITO DEL PROGETTO DI INNOVAZIONE
E TRASFERIMENTO MILKLIMAT

Grazie a un progetto finanziato sulla misura 16.2 - PSR 2014-2020 della Regione Toscana - GAL START, le tecnologie sopra descritte sono attualmente applicate in tre stalle da latte nel comprensorio del Mugel-



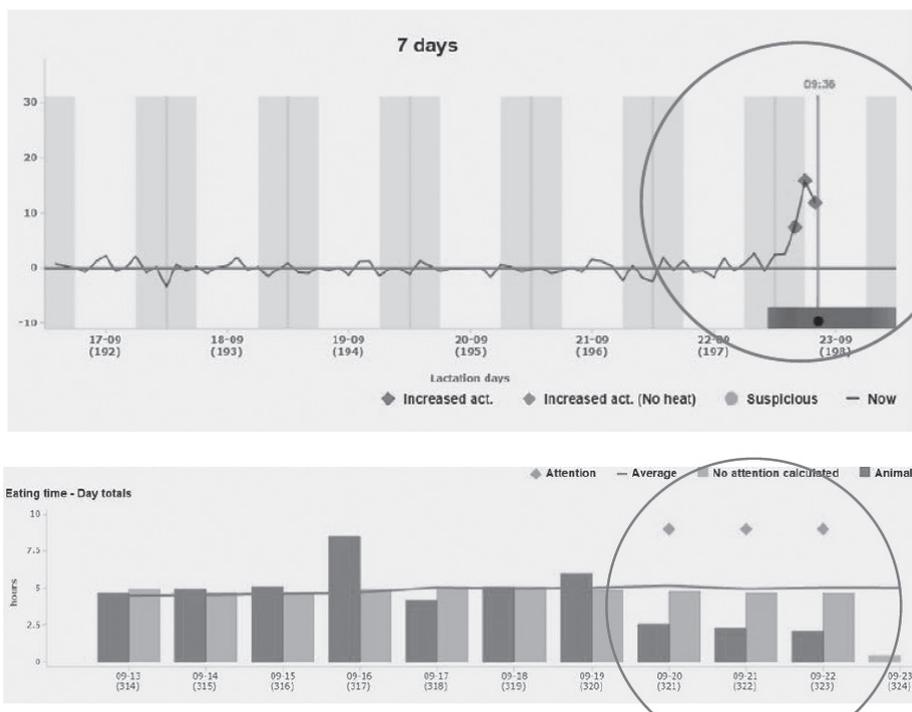
lo. Nell'ambito di tale progetto, denominato MILKLIMAT, è in corso il monitoraggio di dati registrati dai collari e di raccolti da attrezzature specifiche per lo studio microclimatico. Obiettivo finale del progetto sarà quello di calcolare l'attuale indice usato (THI) e di correlarlo ai parametri comportamentali registrati dai collari, in modo da ottenere informazioni utili per applicare le tecnologie atte alla mitigazione dei fenomeni climatici estremi.

Il sistema è composto da un collare contenente sensori che registrano:

- totale ore di alimentazione;
- totale ore di ruminazione;
- totale ore di inattività.

Tali dati vengono trasmessi tramite onde radio a un'antenna e di seguito al ricevitore che li invia al software. I dati vengono elaborati tramite modelli matematici e tradotti in forma grafica o tabellare con cui l'allevatore riceve eventuali avvisi di allerta o del normale andamento della sua mandria.

Il software inoltre avverte se una vacca è in calore. Con questi dati disponibili in tempo reale, le vacche in calore possono essere correttamente



identificate consentendo di migliorare i risultati dell'inseminazione, avere più gravidanze, intervalli di parto più brevi e ridotti costi di inseminazione – tutti con input di lavoro ridotti.

BIBLIOGRAFIA

- ALLEN J.D., HALL L.W., COLLIER R.J., and SMITH J.F. (2015): *Effect of core body temperature, time of day, and climate conditions on behavioral patterns of lactating dairy cows experiencing mild to moderate heat stress*, «J. Dairy Sci.», 98, pp. 118-127.
- ANGRECKA S., AND HERBUT P. (2016): *Impact of barn orientation on insolation and temperature of stalls surface*, «Ann. Anim. Sci.», 16, pp. 887-896.
- CALEGARI F., CALAMARI L., AND FRAZZI E. (2012): *Misting and fan cooling of the rest area in a dairy barn*, «Int J Biometeorol.», 56, pp. 287-295.
- CALEGARI F., CALAMARI L., AND FRAZZI E. (2014): *Fan cooling of the resting area in a free stalls dairy barn*, «Int J Biometeorol.», 58, pp. 1225-1236.
- CALEGARI F., CALAMARI L., AND FRAZZI E. (2016): *Cooling systems of the resting area in free stall dairy barn*, «Int J Biometeorol.», 60, pp. 605-614.
- FERRELL C.L., AND JENKINS T.G. (1985): *Cow type and the nutritional environment: Nutritional aspects*, «J. Anim. Sci.», 61, pp. 725-741.

- HAVLIN J.M., ROBINSON P.H. (2015): *Intake, milk production and heat stress of dairy cows fed a citrus extract during summer heat*, «Anim Feed Sci Technol.», 208, 23e32.
- HENRY B., CHARMLEY E., ECKARD R., GAUGHAN J.B., HEGARTY R. (2012): *Livestock production in a changing climate: adaptation and mitigation research in Australia*, «Crop Pasture Sci.», 63, pp. 191-202.
- IPCC (INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE) (2013): *Climate change 2013: The physical science basis*, in Stocker T.F., Qin D., Plattner G.-K., Tignor M., Allen S.K., Boschung J., Nauels A., Xia Y., Bex V., Midgley P.M. (Eds.), *Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, p. 1535.
- MADER T.L., DAVIS M.S., AND BROWN-BRANDL T. (2006): *Environmental factors influencing heat stress in feedlot cattle*, «J. Anim. Sci.», 84, pp. 712-719.
- NARDONE A., RONCHI B., LACETERA N., RANIERI M.S., BERNABUCCI U. (2010): *Effects of climate change on animal production and sustainability of livestock systems*, «Livest. Sci.», 130, pp. 57-69.
- NEETHIRAJAN S. (2017): *Recent advances in wearable sensors for animal health management*, «Sens. Biosens. Res.», 12, pp. 15-29.
- RADON J., BIEDA W., LENDELOVA J., POGRAJAN S. (2014): *Computational model of heat exchange between dairy cow and bedding*, «Comput. Electron. Agric.», 107, pp. 29-37.
- TULLO E. ET AL. (2019): *Review: Environmental impact of livestock farming and Precision Livestock Farming as a mitigation strategy*, «Sci Total Environ.», 10, 650 (Pt 2), pp. 2751-2760.
- WEST J.W. (2003): *Effects of heat-stress on production in dairy cattle*, «J Dairy Sci», 86, pp. 2131-2144.

Biostimolanti e biofertilizzanti

T. VAMERALI¹, C. DAL CORTIVO¹, G. MOSCA²

Biostimolanti microbici: una opportunità per accrescere la sostenibilità delle colture erbacee di pieno campo

¹ DAFNAE, Università degli Studi di Padova

² Accademia dei Georgofili

Di biostimolanti microbici se ne fa un gran parlare, eppure pochi conoscono esattamente il significato di biostimolante applicato alle piante coltivate. Da alcuni anni il termine è largamente usato, e abusato allo stesso tempo; c'è chi li considera dei concimi, chi dei prodotti ormonici, altri dei bio-fungicidi o altro ancora. L'Unione Europea è intervenuta per fare chiarezza e uniformare il settore, accresciutosi sia in quantità, come dimostrano i fatturati delle aziende produttrici, che in varietà di prodotti commerciali.

La legislazione Italiana sui fertilizzanti (D.Lgs. 75/2010 e la successiva modifica del 10 luglio 2013) già riportava una specifica sezione sui biostimolanti, definendoli «Prodotti ad azione specifica su pianta», ovvero «prodotti che apportano ad un altro fertilizzante o al suolo o alla pianta, sostanze che favoriscono o regolano l'assorbimento degli elementi nutritivi o correggono determinate anomalie di tipo fisiologico». Ne veniva indicato un elenco di possibili prodotti, solidi o liquidi, quali idrolizzato proteico di erba medica, epitelio animale idrolizzato, estratto di erba medica, alghe e melasso, estratto acido di alghe famiglia '*Fucales*', inoculo di funghi micorrizici, idrolizzato enzimatico di *Fabaceae*, filtrato di crema di alghe, estratto umico di leonardite, estratto fluido azotato a base di alga *Macrocystis integrifolia*. Il recente Regolamento Europeo n. 1009 del 25 Giugno 2019 stabilisce le nuove norme relative alla messa a disposizione sul mercato di prodotti fertilizzanti dell'UE, modificando i regolamenti 1069/2009 e 1107/2009, e facendo un po' di ordine anche in materia di biostimolanti delle piante. Li definisce prodotti fertilizzanti in grado di «stimolare i processi nutrizionali delle piante indipendentemente dal tenore di nutrienti del prodotto, con l'unico obiettivo di migliorare una o più delle seguenti caratteristiche delle piante o della loro rizosfera: efficienza d'uso dei nutrienti; tolleranza allo stress abiotico; caratteristiche qualitative; o la

disponibilità di nutrienti contenuti nel suolo o nella rizosfera. Sono previste due categorie, i biostimolanti microbici e quelli non microbici. Quest'ultimi rappresentano un esempio virtuoso di economia circolare, potendo sfruttare sottoprodotti di diverse industrie alimentari che includono acidi umici, estratti di alghe brune, idrolizzati proteici e silicio. Dal maggio 2022, data di entrata in vigore nel nuovo regolamento, tutti i biostimolanti europei potranno avvalersi del marchio CE se soddisferanno i requisiti richiesti. Le indicazioni normative, che hanno recepito i risultati della ricerca scientifica da un lato e le esigenze degli stakeholders dall'altro, chiariscono dunque che i biostimolanti non sostituiscono i concimi e non possono essere considerati neppure fungicidi/insetticidi, anche se tra gli estratti di alghe brune figurano prodotti come la laminarina, impiegata in biologico per stimolare le difese immunitarie di numerose piante coltivate. Con questo regolamento trovano finalmente corretta collocazione i biostimolanti microbici, preparati microbiologici, ivi compresi microrganismi morti o costituiti da cellule vuote. Ne fanno parte anche i residui innocui dei mezzi in cui si sono sviluppati, che non abbiano subito trattamenti diversi dall'essiccazione o dalla liofilizzazione, appartenenti ai gruppi *Azotobacter* spp., funghi micorrizici, *Rhizobium* spp., *Azospirillum* spp.

L'opportunità di utilizzare i biostimolanti microbici (PGPR: Plant Growth Promoting Rhizobacteria) nasce alcune decine di anni fa, soprattutto per colmare le esigenze azotate dei cereali. Gli azospirilli fin da subito sono apparsi tra i gruppi batterici più interessanti, potendo aumentare le rese dei cereali del 5-10% e più, anche se il contributo dell'azotofissazione è sembrato modesto o quasi nullo in ambienti temperati. Le prime esperienze di ricerca condotte dall'Università di Padova, a partire dal 2003, hanno evidenziato l'importanza della produzione di auxine per la capacità di rilasciarle alla pianta ospite nello stimolare l'accrescimento radicale (fino a +44%) quale meccanismo di adattamento alle condizioni colturali, ad esempio nel sorgo. L'effetto è apparso esaltato nei ceppi dotati del carattere di iper-produzione di auxine (IAA⁺⁺). I batteri del genere *Azospirillum* vivono alla superficie delle radici o all'interno della pianta, pur se in forma extracellulare, in analogia ad altri gruppi batterici che oggi si ritrovano nei preparati commerciali, come *Azoarcus* e *Azorhizobium*. Al microscopio elettronico tutti dimostrano di colonizzare bene le superfici radicali e fogliari, addensandosi in quest'ultime in prossimità delle aperture stomatiche, fatto che consente un'agevole applicazione per irrorazione fogliare e al suolo. Il ruolo fisiologico svolto da questi batteri diazotrofi endofiti non è ancora stato chiarito del tutto. Oltre alla produzione di auxine, e alla possibile azotofissazione, vi sarebbe il ritardo di senescenza mediato

dall'ACC deaminasi (Amino-Ciclopropano-Carbossilato), un enzima che degrada un precursore dell'etilene riducendone la sintesi. Purtroppo i vantaggi agronomici derivanti dall'impiego di questi microrganismi non è sempre evidente. In frumento, applicati in concia al seme o in pre-levata, solo talvolta hanno migliorato di poco la resa, e più di frequente il contenuto proteico e l'accumulo di azoto (fino a +34 kg/ha), mentre più stabile sembrerebbe lo stimolo all'accrescimento radicale anche a dosi medio elevate di N. Dai risultati ottenuti, si è giunti alla conclusione che la loro applicazione risulta utile non tanto per migliorare la resa, ma per incrementare la resilienza delle colture agli stress abiotici, termici e idrici, in conseguenza del cambiamento climatico. L'assenza di una struttura morfologica di protezione, come nel caso dei noduli radicali nelle leguminose per i rizobi, crea inoltre un margine di incertezza nella riuscita della colonizzazione dopo l'applicazione. Su questo tema, le numerose esperienze condotte in pieno campo, hanno evidenziato un effetto negativo in caso di piogge abbondanti, quando si verificano subito dopo la semina (con seme inoculato) o dopo i trattamenti fogliari. Non sembrano destare preoccupazione invece le basse temperature di febbraio nei trattamenti pre-levata. Servono poi degli accorgimenti agronomici semplici, quali l'irrorazione a bassa pressione, mentre sono da evitare le applicazioni in presenza di radiazione eccessiva, per la nota sensibilità dei batteri agli UV. Nei cereali autunno-vernini l'impiego di micorrize ha evidenziato dei risultati incoraggianti, in particolare nel caso del fungo *Rhizophagus irregularis* (ex *Glomus intraradices*), disponibile talora in associazione con il batterio diazotrofo libero *Azotobacter vinelandii*. Il fungo instaura una vera e propria simbiosi con le radici dei cereali rendendo più stabili gli effetti sulle piante, determinando cioè un maggior accrescimento radicale, un aumentato numero di apici radicali e un maggiore accumulo di nutrienti, in particolare quelli meno mobili come calcio, zinco, fosforo e potassio. Per migliorare l'assorbimento di questi elementi può risultare efficace anche il ricorso a inoculi con *Bacillus megaterium* e *Fraxauria aurantia*, noti rispettivamente per migliorare la mobilitazione del fosforo e del potassio nel suolo. Per massimizzare i benefici che si possono tradurre anche in interessanti incrementi di resa è importante la corretta combinazione microbica (batterica o fungina micorrizico-batterica), soprattutto nei terreni meno fertili o marginali, in agricoltura biologica, o in aree sensibili ai nitrati, dove il carico di azoto deve essere limitato. È stato anche accertato che l'impatto derivante dall'introduzione di questi batteri non modifica la biodiversità del microbioma rizosferico. È inoltre possibile aumentare l'espressione di alcune subunità glutiniche ad alto peso molecolare (HMW-GS) utili alla qualità panificatoria nel frumento.

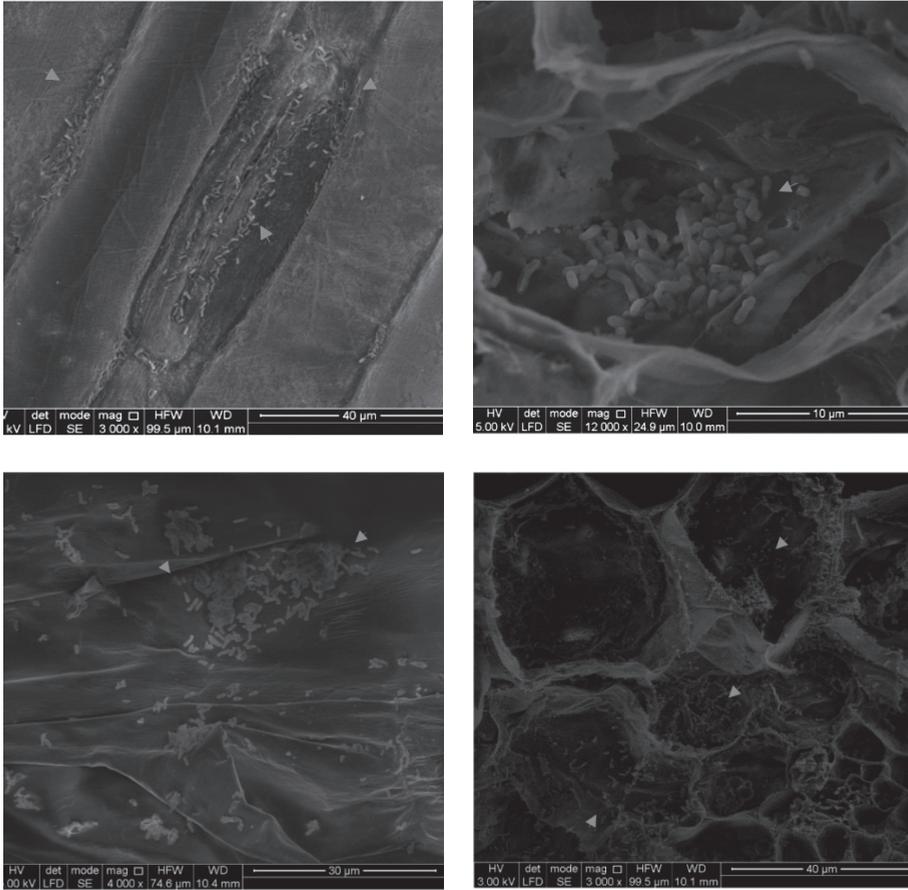


Foto ESEM (*microscopia elettronica*) di foglia (*sopra*) e radice (*sotto*) di frumento. La sezione dei tessuti (*destra*) evidenzia la presenza delle cellule batteriche nelle cavità del mesofillo fogliare (*sopra*) e nei vasi conduttori della radice (*sotto*)

La prospettiva futura per i biostimolanti microbici sembra dunque essere interessante. Servono tuttavia ulteriori sperimentazioni per chiarirne esattamente gli effetti in funzione del tipo di coltura, terreno e condizioni climatiche. È auspicabile infine che il prezzo dei biostimolanti sia congruo, compensato da risultati agronomici utili.

BIBLIOGRAFIA

BASAGLIA M., CASELLA S., PERUCH U., POGGIOLINI S., VAMERALI T., MOSCA G., VANDERLEYDEN J., DE TRONCH P. AND NUTI M.P. (2003): *Field release of genetically marked*

- Azospirillum brasilense* in association with *Sorghum bicolor* L., «Plant and Soil», 256 (2), pp. 281-290.
- DAL CORTIVO C., BARION G., VISIOLI G., MATTAROZZI M., MOSCA G., VAMERALI T. (2017): *Agronomic and environmental benefits of PGPR inoculation on common wheat in controlled conditions and in open fields*, «Agriculture Ecosystems and Environment», 247, pp. 396-408.
- DAL CORTIVO C., BARION G., FERRARI M., VISIOLI G., DRAMIS L., PANOZZO A., VAMERALI T. (2018): *Effects of field inoculation with VAM and bacteria consortia on root growth and nutrients uptake in common wheat*, «Sustainability», 10, 3286.
- DAL CORTIVO C., FERRARI M., VISIOLI G., LAURO M., FORNASIER F., BARION G., PANOZZO A., VAMERALI T. (2020): *Effects of seed-applied biofertilizers on rhizosphere biodiversity and growth of common wheat (Triticum aestivum L.) in the field*, «Frontiers in Plant Science», 11 (Article 72), February 2020.

Cereali

L. GAZZA¹, L. CATTIVELLI¹

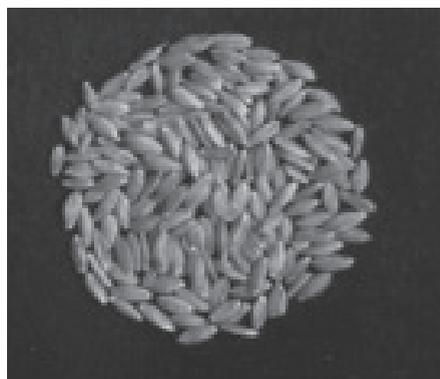
Grano monococco: varietà NORBERTO e HAMMURABI

¹ CREA

CARATTERISTICHE AGRONOMICHE

La coltivazione del *Triticum monococcum* risale a circa 10.000 anni fa quando venne progressivamente sostituito dai grani poliploidi nell'Età del Bronzo. L'antica origine del monococco è confermata anche dal suo ritrovamento nello stomaco della mummia di Ötzi, dall'età stimata di circa 5000 anni, il cosiddetto "uomo dei ghiacci", ritrovato nel ghiacciaio del Similaun in Alto Adige (Pogna e Gazza, 2009). L'interesse per questo cereale è stato riaccessò dalla scoperta di peculiari qualità dietetico-nutrizionali.

Il grano monococco è una specie rustica, resistente alla ruggine bruna, all'oidio e alla fusariosi, a taglia alta (circa 120cm), a habitus invernale e ciclo medio-tardivo. La pianta è sensibile all'allettamento, ma il culmo sottile ed elastico ne consentono un veloce recupero. A causa della sensibilità all'allettamento le concimazioni azotate devono mantenersi tra i 50-80 kg/ha. Presenta inoltre un elevato contenuto proteico (sempre superiore al 16% s.s.) anche in regimi di coltivazione con bassi livelli di concimazione o in biologico e una spiccata adattabilità ad ambienti colturali diversi, il che lo rendono un cereale particolarmente adatto a un'agricoltura con un impatto ambientale ridotto (sostenibile). La densità di semina ottimale è di 150kg/ha. Non è necessaria l'irrigazione. È possibile seminarlo anche a inizio della primavera. La spiga è compressa ai lati, distica e aristata. Le cariossidi si presentano come semi piccoli, oblungi e piatti, avvolte dalle glume ed hanno un peso 1000 semi di circa 25-30 g nella cv Norberto e di circa 30-35 g nella cv a granello nuda Hammurabi. La produzione varia tra i 15-25 q/ha di seme svestito. La tessitura della cariosside è extra soft, con valori di indice SKCS sempre intorno allo zero (Gazza et al., 2014).

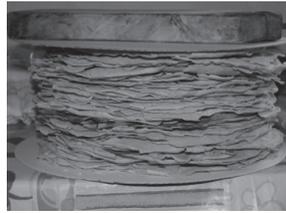
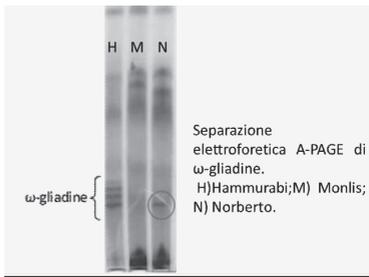


Spighe e cariossidi di monococco cv NORBERTO

Spighe e cariossidi di monococco cv HAMBURABI

CARATTERISTICHE NUTRIZIONALI E UTILIZZO

La cariosside presenta sempre un alto contenuto in proteine. Il profilo elettroforetico delle proteine di riserva indica una scarsa attitudine alla panificazione; Norberto presenta la caratteristica ω -gliadina che la distingue dalle cv Hammurabi (12 ω -gliadine). Le varietà Norberto e Hammurabi sono derivate per selezione di diversi genotipi di monococco, seguendo il profilo di espressione delle ω -gliadine. La qualità nutrizionale del monococco è elevata; oltre le proteine, in particolare il contenuto in fruttani pari al 2,5% è risultato circa il doppio rispetto ai frumenti tenero e duro, così come peculiare è il contenuto in Zn e Fe. Inoltre le varietà di monococco, sono particolarmente ricche in carotenoidi e mostrano un'elevata capacità antiossidante (TAC). I parametri farinografici e alveografici sono piuttosto scadenti ma tali da per-



Alcuni prodotti a base di grano monococco

mettere un'accettabile qualità panificatoria, soprattutto per la cv Norberto, che è pertanto un ottimo candidato per la produzione di pani poco lievitati (piadine, focacce, grissini). La cv Hammurabi invece grazie al suo elevato contenuto proteico (19-21% s.s.) è particolarmente adatta alla pastificazione. Entrambi hanno rivelato un'ottima attitudine alla maltazione per la trasformazione in bevande fermentate tipo birra. L'alto contenuto proteico è unito però a un indice di glutine scarso o addirittura nullo quindi il suo glutine è altamente digeribile, come dimostrato da studi in vitro e in vivo (Iacomino et al., 2016; Di Stasio et al., 2020; Picascia et al., 2020), con una ridotta o nulla tossicità in vitro per le cellule epiteliali dei celiaci. Il monococco quindi è un frumento ad elevato profilo nutrizionale e ben tollerato dai pazienti affetti da sensibilità al glutine non celiaca. L'ottima resistenza naturale a malattie e stress, la necessità di bassi livelli di concimazione e una spiccata adattabilità ad ambienti culturali diversi, lo rendono un cereale particolarmente adatto a un'agricoltura sostenibile e a basso impatto ambientale.

STADIO DI SVILUPPO DELLE VARIETÀ

NORBERTO

- Iscritta al RNVV, numero SIAN 15066, DM iscrizione del 10/04/2017 n.11778 GUN 105 del 08/05/2017.
- Il CREA-IT sede di Roma in qualità di costituente (Costitutori: Laura Gazza e Pierino Cacciatori) è responsabile della conservazione in purezza delle varietà.
- L'Agroservice SpA (San Severino Marche (MC) possiede la licenza esclusiva per la moltiplicazione ai fini della commercializzazione della varietà.
- Domanda di privativa per nuova varietà vegetale presso CPVO n. 2018/1721.

HAMMURABI

- Iscritta al RNVV, numero SIAN 15067, DM iscrizione del 16/10/2014 n.20603, GUN 253 del 30/10/2014.
- Il CREA-IT sede di Roma in qualità di costituente (Costitutori: Laura Gazza, Norberto Pogna, Pierino Cacciatori) è responsabile della conservazione in purezza delle varietà.
- L'Agroservice SpA (San Severino Marche (MC) possiede la licenza esclusiva per la moltiplicazione ai fini della commercializzazione della varietà.
- Privativa per nuova varietà vegetale presso CPVO concessa il 20/01/2020 n. 54191.

BIBLIOGRAFIA

- DI STASIO L., PICASCIA S., AURICCHIO R., VITALE S., GAZZA L., PICARIELLO G., GIANFRANI C., MAMONE G. (2020): *Comparative analysis of in vitro digestibility and immunogenicity of 2 gliadin proteins from durum and einkorn wheat*, «Frontiers in Nutrition», 7, 56. doi: 10.3389/fnut.2020.00056
- GAZZA L., CACCIATORI P., CAMMERATA A. E POGNA N. (2014): *Il ritorno in coltivazione del grano monocolto*, «Molini d'Italia», 10, pp. 46-50.
- IACOMINO G., DI STASIO L., FIERRO O., PICARIELLO G., VENEZIA A., GAZZA L., FERRANTI P., MAMONE G. (2016): *Protective effects of ID331 Triticum monococcum gliadin on in vitro models of the intestinal epithelium*, «Food Chemistry», 212, pp. 537-542. DOI 10.1016/j.foodchem.2016.06.014
- PICASCIA S., CAMARCA A., MALAMISURA M., MANDILE R., GALATOLA M., CIELO D., GAZZA L., MAMONE G., AURICCHIO S., TRONCONE R., GRECO L., AURICCHIO R., GIANFRANI C. (2020): *In celiac disease patients the in vivo challenge with the diploid*

- Triticum monococcum* elicits a reduced immune response compared to hexaploid wheat, «Molecular Nutrition and Food Research», doi: 10.1002/mnfr.201901032
- POGNA N. E GAZZA L. (2009): *Il pane di Otzi torna a tavola*, «Darwin Review», 2, pp. 44-51.
- POGNA N. E GAZZA L. (2009): *Il grano di Otzi*, «Spazio Rurale», 1, pp. 16-17.

G. MOSCA¹, A. ALPI¹, D. PIOVAN¹

Agricoltura di precisione applicata ai cereali. La mappatura dei terreni

¹ Accademia dei Georgofili

Non vi è attività umana che non abbia impatto sull'ambiente. Secondo Paul Jozef Crutzen (Nobel, 1995) il termine “antropocene” simboleggia l'attuale era geologica e le attività svolte dall'uomo sono ritenute le principali cause delle variazioni ambientali e climatiche che conosciamo. Si tratta di un sistema assai complesso che Edward Lorenz nel 1979 definì “effetto farfalla”. Cioè piccole variazioni (battito d'ali di farfalla) nelle condizioni iniziali di un sistema complesso possono produrre grandi variazioni nella sua evoluzione a lungo termine. Nei prossimi trent'anni per tenere il passo con la domanda di alimenti bisognerebbe produrre il 70-100% in più di cibo. Pertanto il diritto al cibo resterebbe una semplice affermazione ideologica se non la si correlasse al dovere di produrlo.

Sono noti diversi appellativi dell'agricoltura con i quali si è tentato di indicare un trend via via migliorativo di costante riduzione dell'impatto. A partire dalla convenzionale si è passati a quella integrata, poi alla eco-compatibile quindi alla conservativa e sostenibile, e infine oggi progressivamente si sta realizzando l'Agricoltura di precisione. Quella di precisione è una forma di agricoltura avanzata, nella quale si fa ricorso a tecnologie dotate di “sistemi intelligenti” in grado di dosare i fattori produttivi (fertilizzanti, antiparassitari...) in relazione alle reali necessità dell'appezzamento e alle diverse zone omogenee interne ad esso (Verghagen e Bouma, 1997).

Nell'agricoltura convenzionale gli interventi vengono basati sulle caratteristiche medie del suolo e ciò implica che, in funzione delle intrinseche variabilità spaziali del campo, l'applicazione dei fattori produttivi potrà essere insufficiente o eccedentaria. L'agricoltura di precisione, al contrario, mira a effettuare degli apporti puntiformi, tenendo conto della variabilità locale delle caratteristiche fisiche, chimiche e biologiche del campo, nonché della tempistica di applicazione (Pierce e Sadler, 1997).

In risposta a queste premesse l'applicazione di tecniche di agricoltura di precisione comporta dei vantaggi sia in termini di incremento della produzione sia in termini di risparmio di input produttivi e di tempo (Robert et al., 1993).

I campi di applicazione di tali sistemi sono numerosi e vari. Questi vanno dalle lavorazioni del terreno, alla semina, alla concimazione, alla difesa delle colture tramite trattamenti con prodotti fitosanitari. Anche miglioramento genetico di precisione e la correzione del genoma ne possono essere coinvolti. Oggi nell'era digitale si assiste a una lenta ma progressiva affermazione di varie innovazioni che comportano una perfetta integrazione tra la meccanica agraria e l'elettronica trasformandosi, in un insieme del tutto innovativo chiamato "meccatronica" (sensori che comandano direttamente le macchine nelle varie operazioni). I risultati derivanti da tali applicazioni devono poi essere interpretati tramite l'informatica.

Affinché l'Agricoltura di Precisione (AP) trovi piena applicazione, occorre soddisfare anche i fabbisogni di formazione e informazione tecnica, per gestire la complessità degli strumenti e dei processi, al fine di razionalizzare gli interventi e valorizzare i benefici.

Sulla base della pluriennale esperienza acquisita sul campo, nell'ambito di alcuni recenti progetti di ricerca (Ager I e II) è indispensabile prendere in esame le operazioni che gli agricoltori (e/o i contoterzisti) devono gestire e definire quali sono le tecnologie disponibili per rendere più efficiente e produttiva l'azienda agraria.

Appare invece limitante l'impegno richiesto per la determinazione della variabilità spaziale dei fattori pedologici e biologici che concorrono a determinare la fertilità di un sito. Per alcuni fattori all'intrinseca variabilità spaziale si aggiunge poi un'elevata variabilità temporale.

L'applicazione di questo approccio innovativo richiede una approfondita conoscenza delle caratteristiche fisiche, chimiche e biologiche degli appezzamenti nonché, la loro mappatura e memorizzazione. Nell'ambito delle operazioni colturali, la gestione di tutti questi dati viene affidata a computer (*controller*) posti a bordo delle macchine operatrici.

Per la conoscenza delle caratteristiche fisico-chimiche di ciascun appezzamento oggi sono disponibili degli strumenti in grado di misurare la variabilità di diversi parametri del suolo e la loro memorizzazione in base alla posizione in campo avviene grazie al sistema di navigazione satellitare (GPS). In questo modo vengono realizzate delle mappe digitali sulla cui base è poi possibile progettare gli interventi giusti, nel momento giusto e nel posto giusto ricavando le così dette mappe di prescrizione. Principio

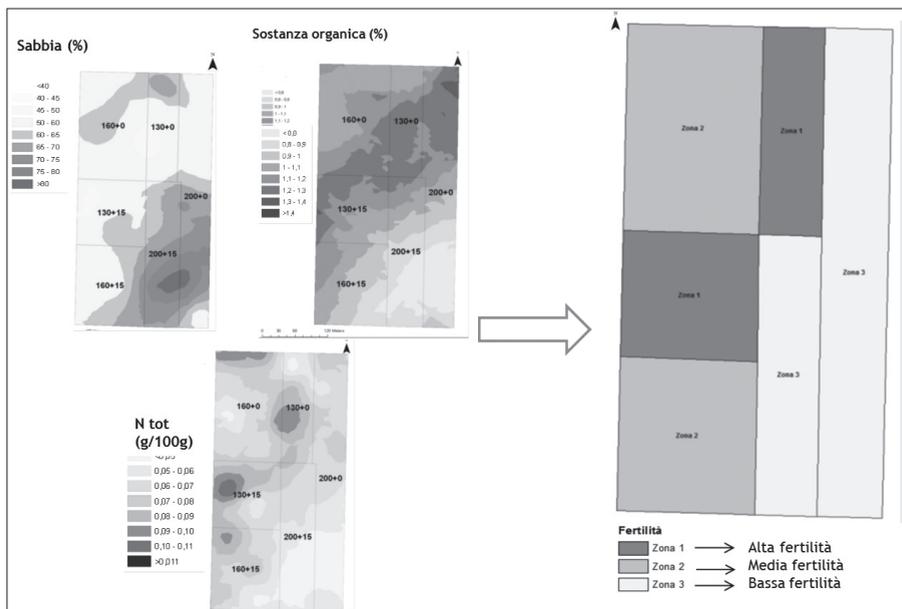


Fig. 1 Sulla base di analisi dettagliate si genera la “mappa di fertilità”

su cui si fonda l’agricoltura di precisione. La base di partenza per conoscere i propri terreni è da sempre l’uso delle analisi di laboratorio per identificarne le principali componenti fisiche (tessitura), le dotazioni di sostanza organica e dei nutrienti (azoto, fosforo, potassio e microelementi). La classica tecnica si basa sul prelievo di campioni di terreno seguendo uno schema a griglia di data ampiezza da far analizzare successivamente. Questa metodologia consente di ottenere una visione d’insieme delle caratteristiche medie sulla cui base suddividere in differenti zone eventualmente presenti in ciascun appezzamento. Fra gli strumenti usati per la mappatura dei terreni sono disponibili dei sensori ad induzione elettromagnetica in grado di misurare la conducibilità o resistività elettrica di un suolo anche a grande profondità. Accanto alla tradizionale analisi chimica sono disponibili un sensore ottico per il rilievo della sostanza organica, il campionatore del pH e lo spettrofotometro a raggi gamma sensibile alle proprietà chimiche dei suoli. Detti sensori sono montati su trattori che percorrendo tutta la superficie dell’appezzamento acquisiscono i dati necessari a costruire la mappa indispensabile per identificare le diverse zone omogenee del campo.

Passiamo ora a un esempio concreto di applicazione dell’AP in cerealicoltura considerando il caso del più importante cereale a paglia: il frumento.

BIBLIOGRAFIA

- PIERCE F.J., SADLER E.J. (ed) (1997): *The state of site specific management for agriculture*, ASA Publ., ASA, CSSA e SSSA, Madison, WI, USA.
- ROBERT P.C., RUST R.H., LARSON W.E. (1993): *Proceedings of soil specific crop management: a workshop on research and development issues*, SSSA Spec. Publ., SSSA, Madison, WI, USA.
- VERHAGEN J. , BOUMA J. (1997): "Modeling soil variability", in Pierce F.J., Sadler E.J. (ed), *The state of site specific management for agriculture*, ASA Publ., ASA, CSSA e SSSA, Madison, WI, USA.

G. MOSCA¹, A. ALPI¹, D. PIOVAN¹

La concimazione azotata a rateo variabile in frumento

¹ Accademia dei Georgofili

I fondamenti agronomici per la coltivazione del frumento rimangono sempre gli stessi e cioè l'applicazione di tecniche agronomiche a ridotto impatto con limitato rischio di insuccesso produttivo.

I criteri da rispettare scrupolosamente sono i seguenti:

- mantenere l'avvicendamento colturale;
- bilanciare le lavorazioni del terreno;
- controllare le malerbe;
- ottimizzare l'apporto dei nutrienti;
- prevenire gli stati di stress.

È bene ricordare innanzi tutto alcune criticità tipiche della filiera frumento:

- costi della logistica (noli: incidono per il 20% circa dei costi complessivi);
- eccessiva frammentazione della produzione;
- Nord Italia: cereale a paglia con buona resa, ma limitata qualità proteica,
- difficoltà di generare un prodotto con caratteristiche omogenee.

L'“AP” applicata alla concimazione, in particolare quella azotata, si basa su:

- agricoltura sito-specifica;
- tecniche agronomiche “*on the go*”;
- uso di indicatori ottici (NDVI) in relazione allo stato nutrizionale delle colture;
- modelli previsionali per pilotaggio ultima dose di N;
- restituzioni *vrt* (*variable rate technology*: concimazione a dose variabile);

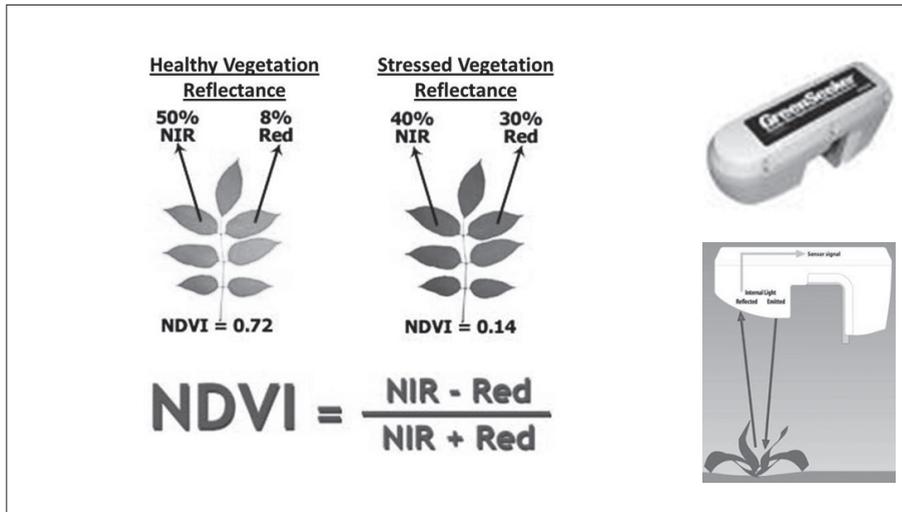


Fig. 1 Determinazione dell'indice NDVI e sensori adatti per la rilevazione della colorazione fogliare



Fig. 2 Sensori montati sul frontale della trattoria (proximal sensing) oppure su droni (remote sensing)

- uso di tecnologia NIR montata su mietitrebbia;
- tecniche di raccolta pilotata (v. Sartori).

Eeguire degli interventi di agricoltura sito-specifica attraverso tecniche *on the go* significa che una volta decisa la quantità di nutrienti necessari da apportare a una coltura si esegue l'intervento con la dose giusta, nel posto giusto (rateo variabile), al momento giusto. In via preliminare si inizia con la determinazione della pigmentazione fogliare per la quale di norma si utilizza la stima del *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI, Proximal Sensing). La combinazione poi tra *indici spettrali* e le previsioni meteo risulta

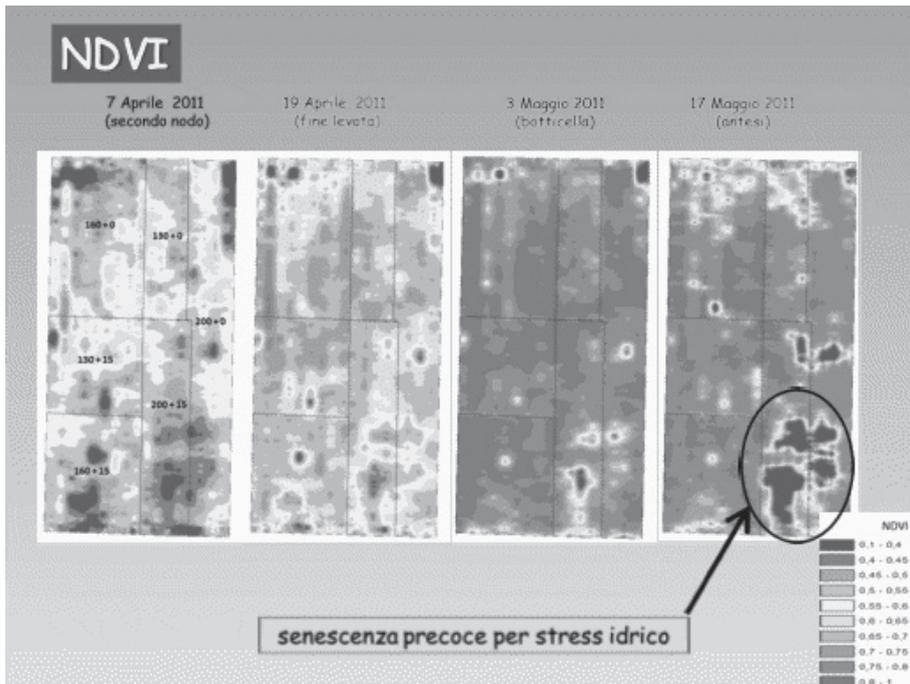


Fig. 3 Mappatura dei risultati della stima dell'indice NDVI eseguita in quattro fasi del ciclo

quanto mai utile per ottimizzare la concimazione N in dose variabile (VR) al grano (v. capitolo di Sartori L.)

Alla raccolta, tramite un normale PC dotato di apposito software portato sulla mietitrebbia, si ottengono le così dette mappe di produzione (fig. 4). I risultati produttivi andranno interpretati sulla base della mappatura dei terreni.

Allo scopo di disporre di lotti di granella quanto mai omogenei per composizione media si utilizza la spettroscopia all'infrarosso realizzata attraverso il NIR (Near Infrared Reflectance). Sulla base di umidità, concentrazione di amido, lipidi e proteina si possono mantenere separati i lotti raccolti per qualità omogenea dal campo fino al silos dedicato. Ottenuta la concentrazione in proteina grezza si può costruire anche la mappa che raffigura la presenza di fasce di isoproteina più o meno omogenee (fig. 5). Il sistema NIR montato su mietitrebbia rappresenta il punto iniziale di analisi lungo il percorso della granella all'interno della raccogliitrice. Il risultato dell'analisi rappresenta quindi una interfaccia di più dettagliata conoscenza fra agricoltore e stoccatore-molitore. Fornisce cioè quella informazione che nell'immediato si rende necessaria per la collocazione sul mercato e nel

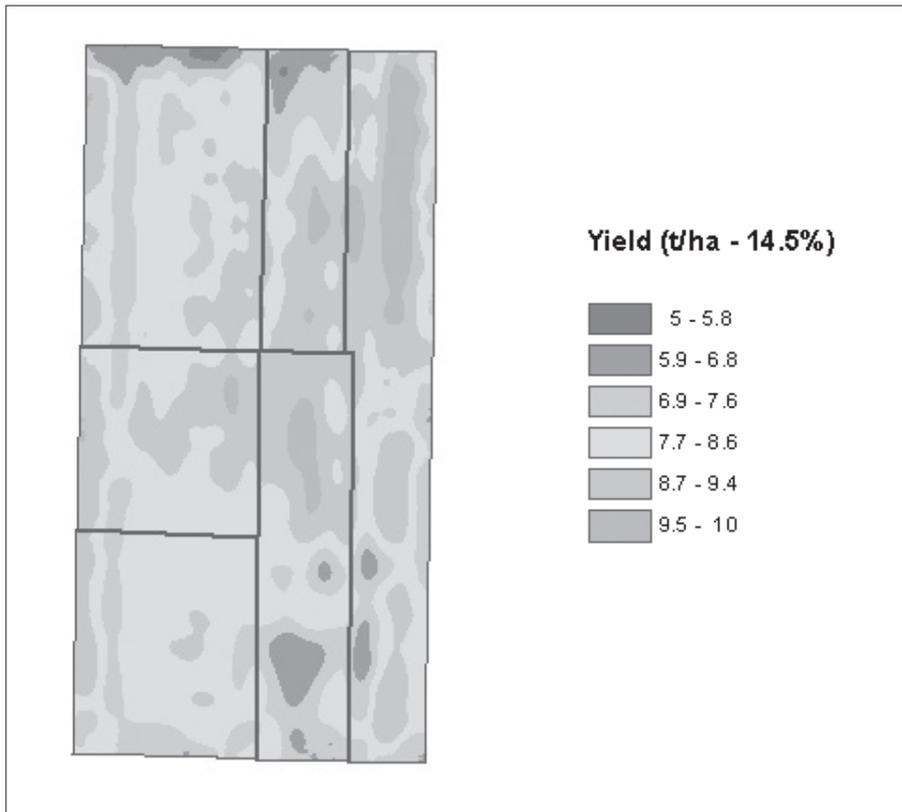


Fig. 4 2012: mappa della resa in granella di frumento

lungo periodo è un feedback destinato ad aiutare l'agricoltore a migliorare le produzioni future.

Per una migliore riuscita nell'applicazione di AP potrebbe risultare utile instaurare un «nuovo rapporto» con il contoterzista di zona ma soprattutto sono indispensabili maggiori conoscenze per tutti gli operatori su temi di base del tipo:

- approfondimento degli apparati radicali e interfaccia radice/rizosfera;
- tolleranza agli stress (idrico, nutrizionale...);
- efficienza d'uso dei fattori produttivi;
- intensificazione della formazione a tutti i livelli.

La diffusione del sistema aeromobile a pilotaggio remoto potrebbe agevolare la rilevazione degli indici vegetazionali. La distribuzione di elevati input

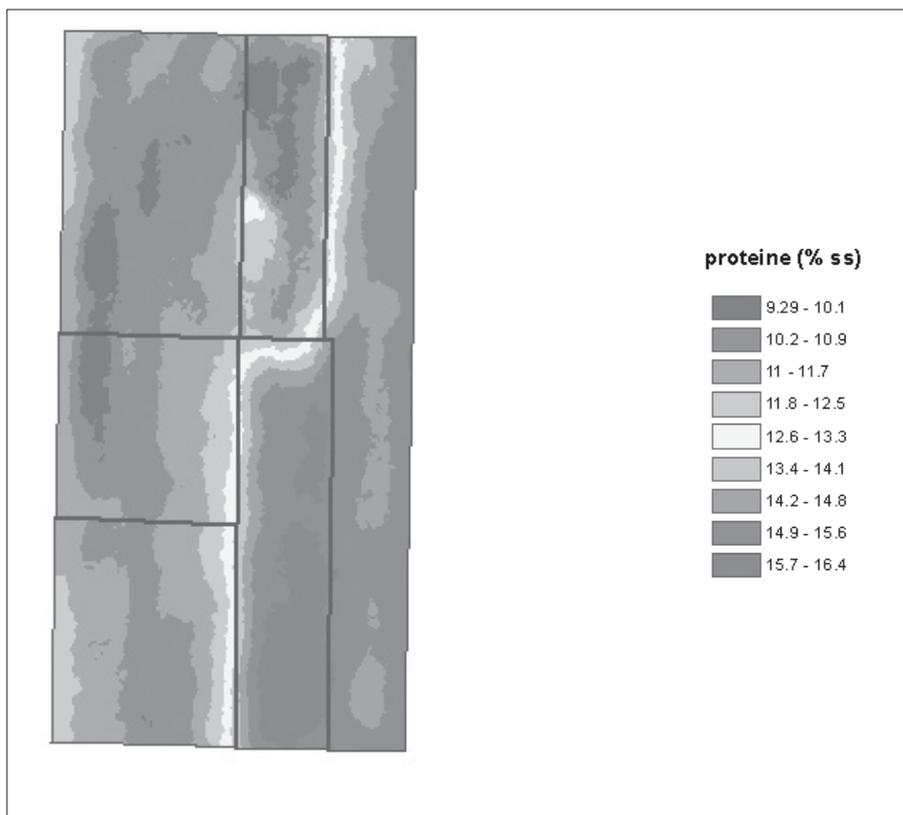


Fig. 5 Ripartizione nell'appezzamento della proteina grezza contenuta nella cariosside (grano duro)

azotati sembrerebbe la soluzione ottimale per migliorare la qualità del frumento, ma elevati input N non sono sostenibili dal punto di vista ambientale ed economico. Il risultato sperato tuttavia potrebbe apparire modesto in condizioni meteorologiche avverse (es. carenza idrica). In condizioni di stress idrico infatti emerge chiaramente l'effetto tipologia di "suolo" (es. sabbioso). In un'ottica di filiera corta tutta italiana, si pone la proposta di un prodotto con caratteristiche qualitative tali da soddisfare il consumatore sempre più esigente e sensibile agli aspetti di genuinità degli alimenti ("*grano tutto italiano*").

Il completo sfruttamento delle potenzialità di riduzione degli input raggiungibile con l'agricoltura di precisione richiede attrezzature con un'elevata risoluzione spaziale. Il miglioramento della risoluzione richiede tecnologie complesse, determinando in ultima analisi un incremento dei costi fissi. Si

rende quindi necessario trovare un opportuno compromesso tra costo delle attrezzature e precisione, in modo da garantire la convenienza economica dell'adozione di AP. A tale proposito appare quasi indispensabile instaurare un «nuovo rapporto» con il contoterzismo. Circa la diffusione del sistema aeromobile a pilotaggio remoto (drone o satellite), considerata la indispensabile autorizzazione dall'ENAC per consentire lo svolgimento delle loro operazioni in sicurezza, prosegue ancora lentamente. Il progetto AGER II ("Un prototipo per l'ottimizzazione della concimazione azotata a rateo variabile del grano duro in funzione di previsioni climatiche di medio periodo") ha avuto l'obiettivo di migliorare ulteriormente la gestione della concimazione azotata del frumento attraverso una nuova tecnologia che ottimizza la distribuzione del concime, tenendo conto delle esigenze della coltura, anche sulla base di previsioni climatiche a medio termine. Grazie ai risultati conseguiti in precedenza è stato costruito un prototipo in grado di automatizzare la distribuzione variabile del concime azotato, integrando le informazioni fornite dai sensori ottici con quelle simulate dai modelli predittivi della resa. Il funzionamento di detto prototipo si basa su un sistema esperto che, utilizzando previsioni climatiche a medio termine (2-3 mesi), è in grado di predire il fabbisogno azotato potenziale della coltura in funzione della resa, della qualità, dell'impatto sulle acque e sulla qualità dell'aria. Tali informazioni sono state integrate con quelle provenienti da sensori prossimali (*on-the go*) o in remoto (drone o satellite), al fine di modulare la dose azotata in funzione della variabilità del suolo. Il prodotto finale consiste in una mappa di prescrizione che viene caricata su un *cloud* specifico e, al momento della concimazione, scaricata in campo dall'agricoltore attraverso il monitor della trattrice.

BIBLIOGRAFIA

- BERTI A., BORIN M., GIUPPONI C., MORARI F., ZANIN G., DUSO C., FURLAN L., RIZZO S., SARTORI L., NARDI S., SESSI E. (2000): *Potenzialità applicative dell'agricoltura di precisione nell'ambiente veneto*, <<http://hdl.handle.net/11577/2453601>>.
- CARDINA J., HERMS C.P., DOOHAN D.J. (2017): *Crop rotation and tillage system effects on weed seedbanks*, Online Cambridge Univ. Press (<[https://doi.org/10.1614/0043-1745\(2002\)050\[0448:CRATSE\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1614/0043-1745(2002)050[0448:CRATSE]2.0.CO;2)>).
- LODDO S., BOSCHIERO M., MORARI F., SARTORI L., BERTI A., BERZAGHI P., FERLITO J. C., MOSCA G. (2011): *Primi risultati sulla mappatura della variabilità spaziale in grano duro*, Atti XL Conv.
- LODDO S., MORARI F., SARTORI L., MOSCA G., BERTI A. (2012): *Using NDVI to define optimal N rate: an application on durum wheat*, Proc. 17th International Nitrogen Workshop 2012. Wexford Opera House, Wexford, Ireland. 26-29 June 2012, pp. 266-67.

- MORARI F., LODDO S., BERZAGHI P., FERLITO J.C., BERTI A., SARTORI L., VISIOLI G., MARMIROLI N., MOSCA G. (2014): *Mapping protein quantity in durum wheat in NE Italy. Prodrôme to precision harvest*, «Ann. Acc. Naz. Agricoltura», CXXXIV, pp. 117-123.
- MORARI F., LODDO S., BERZAGHI P., FERLITO J.C., BERTI A., SARTORI L., VISIOLI G., MARMIROLI N., PIRAGNOLO D., MOSCA G. (2013): *Understanding the effects of site-specific fertilization on yield and protein content in durum wheat*, in J.V. Stafford Ed., 9th Eur. Conf. on Precision Agriculture, Lleida, Spain. Wageningen Acad. Pub., 321-327 (ISBN 978-90-8686-224-5; DOI 10.3920/978-90-8686-778-3).
- Morari F., Sartori L., Berti A., Berzaghi P., Ferlito P., Mosca G. (2014): *Agricoltura di precisione: la mappatura della variabilità spaziale in grano duro. Precision farming in durum wheat: some innovations for the quality improvement and environmental impact mitigation*, Nov. 2014 Conf.: Agricoltura di precisione, Bologna, «Ann. Acc. Naz. Agric.», CXXXIV, a.a. 207, V Serie, pp. 399-403.
- MORARI F., ZANELLA V., GOBBO S., BINDI M., SARTORI L., PASQUI M., MOSCA G., FERRISE R. (2020): *Coupling proximal sensing, seasonal forecasts and crop modelling to optimize nitrogen variable rate application in durum wheat*, «Precision Agriculture» (ID: PRAG-D-19-00313R2) (in press).
- PIRAGNOLO D., ZANELLA V., LODDO S., MORARI F., GASPARINI F., SARTORI L., BERTI A., MOSCA G. (2013): *A two-year study on use of NDVI index as indicator of nutritional status in durum wheat*, in «Atti XLII Conv. Soc. It. Agr.», 36-39.
- SIA, Teramo (I), 7-9.09.2011, pp. 86-87.
- VISIOLI G., GULLÌ M., MARMIROLI N., LODDO S., BOSCHIERO M., MOSCA G. (2011): *Northern Italy cultivated durum wheat: low input nitrogen fertilization coupled by increased grain nutritional value*, Second Ann. Conf. and MC Meeting Cost Act. FA 0905 on “Mineral Improved Crop Production for Healthy Food and Feed”, Venice 23-26 Nov, 2011.

A. FERRERO¹

Sostenibilità della produzione risicola in Italia (1)

¹ Università degli Studi di Torino

Introdotta nel nostro Paese agli inizi del XIII secolo, il riso assume un ruolo di primo piano nell'economia agricola del nostro Paese per la superficie investita e, soprattutto, per la corrente di esportazioni, che è in grado di sostenere.

Coltivato nella campagna produttiva del 2019 su una superficie di 220.000 ha, prevalentemente localizzati nelle province di Pavia, Vercelli, Novara e Milano, ha fornito una produzione di 1.498.000 tonnellate alla raccolta, corrispondenti a 1.047.000 tonnellate di riso lavorato. Quasi il 60% della produzione è destinato all'esportazione, in gran parte (48%) verso gli altri paesi dell'Unione (tabb. 1 e 2).

Il riso può essere coltivato in condizioni ambientali molto differenziate dal punto di vista climatico e pedologico, sia per la sua naturale versatilità, sia a seguito di adeguati accorgimenti agronomici messi in atto per la sua coltivazione. Pur prediligendo ambienti con temperature elevate e stabili è in grado di adattarsi alle basse temperature e alle escursioni termiche degli ambienti temperati, grazie all'azione mitigatrice della sommersione. L'adozione di tale pratica richiede un'impegnativa opera di sistemazione e livellamento dei terreni, con la realizzazione di adeguate arginature per il contenimento dell'acqua e di una rete di canali e fossi, oltre ad appropriati manufatti (dighe, partitori, chiuse e paratie), per regolarne il deflusso. I forti investimenti di lavoro e capitali necessari per la realizzazione di questi interventi hanno dato luogo, nel tempo, ad un importante riordino fondiario, con la formazione di aziende, che hanno raggiunto oggi, la dimensione media di 55 ha e hanno portato a una certa rigidità del sistema produttivo, con la diffusione della monosuccessione colturale. In queste condizioni, grazie soprattutto allo sviluppo della meccanizzazione e dei mezzi chimici per la fertilizzazione e la difesa della coltura, oggi, si considera che possa rendersi necessaria la presenza di un solo lavoratore ogni 60-80 ha.

TIPOLOGIA MERCEOLOGICA	SUPERFICIE (HA)	RESA UNITARIA MEDIA (T/HA)
Tondo	54.000	7,1
Medio	8.000	5,87
Lungo A	105.000	6,38
Lungo B	53.000	7,50
Produzione media		6,81

Tab. 1 *Superfici e rese unitarie di risone (Fonte: Ente Nazionale Risi, 2019)*

Produzioni ed esportazioni	Tonnellate
Produzione risone	1.498.000
Produzione riso lavorato	1.047.000
Collocazione Italia	423.000
Collocazione paesi UE	507.000
Collocazione paesi terzi	117.000

Tab. 2 *Produzioni ed esportazioni di riso (Fonte: Ente Nazionale Risi, 2019)*

In questo quadro, gli aspetti che maggiormente hanno contribuito a dare una connotazione di sostenibilità al sistema produttivo intensivo della risicoltura del nostro paese sono prevalentemente legati alla modalità di semina e alla gestione dell'acqua, alla fertilizzazione azotata di precisione, alla lotta alle malerbe e alla mitigazione del rischio di contaminazione delle acque da prodotti fitosanitari. Questi aspetti vengono trattati in questa nota separatamente in 2 parti, di cui la prima riportata di seguito.

MODALITÀ DI SEMINA E GESTIONE DELL'ACQUA

Le temperature necessarie per la crescita del riso sono comprese tra un minimo di 10° C. e un massimo di 32-33 ° C. In relazione a queste esigenze termiche, nei nostri ambienti la coltura è collocata nella stagione più calda dell'anno, con semina primaverile (aprile-maggio) e raccolta tardo estiva-autunnale (settembre-ottobre) e sottoposta a sommersione continua per gran parte del ciclo colturale, allo scopo di mitigare le oscillazioni termiche, soprattutto nelle fasi iniziali di sviluppo e durante la fioritura.

L'acqua di sommersione deve essere mantenuta sempre a un livello appropriato, in relazione allo stadio di sviluppo della coltura. Dalla semina fino all'accostamento, la profondità dell'acqua non è, in genere, superiore a 5 cm, per non danneggiare l'emergenza e la crescita iniziale del riso; dallo stadio

di levata e fino a quello iniziale di maturazione il livello viene gradualmente innalzato fino ad una profondità di 12-15 cm.

Durante lo sviluppo della coltura la sommersione viene comunemente interrotta più volte per pochi giorni, allo scopo di favorire la radicazione, contenere lo sviluppo delle alghe, permettere la distribuzione dei fertilizzanti e l'applicazione dei prodotti per la difesa (soprattutto diserbanti e fungicidi).

Nel corso dell'intero ciclo colturale si rendono, in genere, necessari volumi di acqua compresi tra 18.000 e 40.000 mc³/ha a seconda che la coltivazione venga realizzata su terreni argillosi o tendenzialmente sabbiosi. In relazione a tali consumi il riso è spesso considerato una coltura responsabile di insostenibili sprechi di acqua, soprattutto se posta a confronto con colture di altrettanto importante interesse alimentare, quali frumento, mais, soia, per le quali si rendono necessari volumi idrici stagionali non superiori a 5.000-6.000 m³/ha. Questa osservazione critica è da ritenersi, in gran parte, priva di fondamento, tenuto conto che la coltivazione del riso viene effettuata in un periodo stagionale e in areali con una buona dotazione di acqua di superficie, proveniente in modo naturale dalla catena alpina, che, se non impiegata per l'irrigazione del riso, sarebbe destinata ad un totale inutilizzo, con deflusso diretto verso il mare. Grazie a un fitto reticolo di canali, rogge e fossi, durante il periodo di sommersione il sistema risicolo del nostro paese costituisce, di fatto, un unico grande bacino, in grado di trattenere circa 1 miliardo di m³ di acqua, immagazzinandola sulla superficie o negli strati profondi del terreno, e di rilasciarla, con gradualità, nei territori a valle.

Le acque che scorrono con un movimento lento e continuo da una camera all'altra, sotto forma di colature, e quelle che si infiltrano nel terreno e che riemergono più a valle, attraverso i fontanili, danno luogo a un complesso sistema di vasi comunicanti che consente un riciclo delle stesse in risaia per circa 3 volte.

L'acqua che penetra in profondità determina, anche, un significativo innalzamento del livello delle falde idriche in un ampio territorio a valle di quello risicolo, permettendone un riutilizzo non solo nel settore agricolo, ma anche in quello civile ed industriale.

Su circa il 50% della superficie risicola del nostro paese, la sommersione viene mantenuta per gran parte del ciclo colturale, dalla semina, effettuata in acqua, fino all'inizio della maturazione, mentre sulla quasi totalità della restante superficie, in cui la semina viene realizzata a file su terreno asciutto, l'acqua viene immessa soltanto a partire dalla 2a-3a foglia della coltura (fig. 1).



Fig. 1 *Semina del riso su terreno sommerso*

Su poche migliaia di ettari l'irrigazione viene effettuata saltuariamente, come per le altre colture, con frequenti e limitati apporti idrici, mediante interventi per scorrimento o per aspersione.

La tecnica della semina in asciutta, con interrimento del seme, ha fatto registrare una crescente diffusione, soprattutto in questi ultimi anni, a seguito dei seguenti principali vantaggi, legati alla presenza di un ambiente aerobico durante le prime fasi di sviluppo della coltura:

- agevolazione nelle operazioni di semina, con possibilità di operare con trattrici gommate su terreno asciutto;
- minor sviluppo delle malerbe tipiche della coltura seminata in acqua (es. eterantere);
- possibilità di impiegare diserbanti, non utilizzabili in coltura sommersa, con conseguente ampliamento del ventaglio di prodotti disponibili;
- riduzione dell'emissione di metano (gas a effetto serra) prodotto della degradazione della sostanza organica in condizioni di terreno asfittico.

L'ulteriore diffusione della pratica della semina in asciutto rischia, tuttavia, di provocare problemi di disponibilità di acqua nel momento in cui la coltura, viene sommersa, verso la fine di maggio. In queste condizioni, infatti, si rende necessario disporre, in un breve arco di tempo, di notevoli volumi di acqua per la saturazione e la sommersione del terreno delle risaie asciutte, in

un periodo nel quale non si dispone di un abbondante riciclo delle acque di colatura e di fontanile. Ad aggravare questa situazione va osservato che, nello stesso periodo, la rete irrigua dovrebbe soddisfare anche le richieste di acqua per l'irrigazione di altre colture, quali ad esempio il mais. In relazione a queste considerazioni è auspicabile che nel sistema risicolo, le due tecniche di semina possano mantenersi in un rapporto equilibrato e, ove possibile, utilizzate sulle stesse superfici in modo alternato negli anni.

A. FERRERO¹

Sostenibilità della produzione risicola in Italia (2)

¹ Università degli Studi di Torino

In questa seconda parte della nota vengono trattati gli aspetti della sostenibilità relativi alla fertilizzazione azotata di precisione e alla gestione della vegetazione infestante

FERTILIZZAZIONE AZOTATA DI PRECISIONE

Per una più efficiente utilizzazione da parte delle piante e per una riduzione del rischio di contaminazione ambientale, nel riso, così come nelle altre colture, i fertilizzanti azotati vengono comunemente somministrati in modo frazionato, apportando il totale quantitativo stabilito per la coltura in 3 momenti, circa il 50% prima della semina, unitamente ai concimi fosfatici e potassici, il 25% allo stadio di 2-3 foglie della coltura e il restante 25% all'inizio della levata, durante la differenziazione degli organi fiorali.

Per migliorare l'efficienza dei concimi azotati è possibile ricorrere a tecniche di fertilizzazione azotata di precisione, nota anche come sito-specifica, basate sulla differenziazione dell'apporto, in copertura, del concime in funzione della variabilità dello stato nutrizionale della coltura all'interno della risaia.

Questa tecnica prevede la creazione di mappe di prescrizione georeferenziate, basate sui diversi livelli di produzione rilevati all'interno delle camere di risaia nell'anno precedente o, più correttamente, sul vigore vegetativo della coltura nel momento in cui deve essere effettuata la concimazione di copertura, secondo una griglia spaziale con maglie di poche decine di m². Sulla base di queste informazioni si procede, quindi, alla concimazione differenziata ricorrendo ad attrezzature spandiconcime, già diffuse nelle aziende risicole,

in grado di distribuire dosi diverse di fertilizzante nelle aree caratterizzate da minore o maggiore produzione/indice di vigore vegetativo.

L'applicazione di questa tecnica ha dimostrato di migliorare significativamente il livello produttivo, riducendo fino al 15% l'apporto del fertilizzante azotato.

GESTIONE DELLA VEGETAZIONE INFESTANTE

Le particolari condizioni ecologiche della risaia, legate alla sommersione e alla monosuccessione colturale, hanno favorito, nel tempo, la diffusione di una specifica vegetazione infestante, oggi principalmente rappresentata da specie quali riso crodo (*Oryza sativa*), giavoni (soprattutto *Echinochloa crus-galli* ed *E. phyllopoгон*), ciperacee (*Shoenoplectus mucronatus*, *Bolbochoenus maritimus*, *Cyperus difformis*), mestolaccia comune (*Alisma plantago-aquatica.*), giunco fiorito *Butomus umbellatus* L. e le eterantere (*Heteranthera reniformis*, *H. limosa*), leptocloa (*Lepochloa fascicularis*), panico delle risaie (*Panicum dicotomiflorum*), ammannia (*Ammannia coccinea*), erba miseria (*Murdannia keisak*) (fig. 1).

La gestione delle piante infestanti rappresenta uno degli aspetti più critici della coltivazione del riso, dal momento che un suo insuccesso può portare, anche, alla totale perdita della produzione. Il controllo di queste piante si basa, comunemente, sulla combinazione ragionata di diversi strumenti di lotta, agronomici, meccanici, fisici e chimici.

I mezzi agronomici, quali ad esempio il livellamento del terreno, la regolazione del livello dell'acqua e le tecniche di preparazione del terreno sono principalmente finalizzati a prevenire lo sviluppo delle malerbe e sono generalmente adottabili unitamente ad altre tecniche di lotta. Il regolare livellamento del terreno permette di ottenere un uniforme strato d'acqua nella risaia, rendendo contemporaneo lo sviluppo delle malerbe e migliorando l'efficienza degli interventi di lotta. Le asciutte effettuate nelle prime fasi di sviluppo della coltura consentono di eliminare le infestazioni di alghe, che frequentemente si formano sulla superficie dell'acqua nelle prime fasi di sviluppo della coltura. L'aratura tende a interrare in profondità i semi delle malerbe caduti sulla superficie del terreno, limitandone l'emergenza. I mezzi meccanici e fisici, sono, di fatto, insieme a quelli agronomici, i soli di possibile applicazione nella risicoltura biologica. I meccanici, utilizzabili in condizioni di terreno asciutto, sono rappresentati dalle operazioni di strigliatura effettuate a pieno campo con particolari erpici e da quelle di sarchiatura, realizzate, invece, tra



Fig. 1 *Inerbimento della risaia in assenza di controllo*

le file della coltura. La lotta fisica più comunemente utilizzata è costituita dalla pacciamatura verde, realizzata seminando una coltura di copertura dopo la raccolta della coltura che precede il riso. Si ricorre, a questo scopo, spesso alla semina di specie quali veccia vellutata, loglio italico (loiessa) o segale che, qualche tempo prima della semina del riso, vengono devitalizzate mediante particolari rulli scanalati (tipo *roller crimper*), lasciando la vegetazione sul terreno come strato pacciamante, per il contenimento dello sviluppo della vegetazione spontanea (fig. 2).

Le maggiori difficoltà incontrate nel controllo delle malerbe sono, oggi, prevalentemente legate al riso crudo e alla gestione dei fenomeni di resistenza ai diserbanti.

Riso crudo

È una forma di riso selvatico, caratterizzato da una crescita più rapida e da un



Fig. 2 *Devitalizzazione della coltura di copertura con rullo scanalato tipo “Roller crimper”*

vigore vegetativo superiore a quello del riso coltivato, oltre che da una notevole capacità di disseminazione (crodatura). Le cariossidi hanno frequentemente un pericarpo di colore rossastro (da cui anche il nome comune di “riso a grana rossa” e, in inglese, *red rice*) e sono in grado di rimanere vitali nel suolo asfittico della risaia, fino a una trentina di anni (fig. 3). Il controllo di questa malerba, resa difficile dalle sue strette affinità botaniche con le varietà coltivate, può essere essenzialmente effettuata adottando le seguenti tecniche di lotta, in assenza e in presenza della coltura.

In assenza della coltura

Sommersione invernale. Il mantenimento di una coltre idrica sulle stoppie della coltura per un periodo di 2-3 mesi dopo la raccolta della coltura favorisce, da un lato, la presenza e l'attività predatrice della fauna acquatica (soprattutto uccelli) e dall'altro, la germinazione a partire dal tardo autunno dei semi di riso crodo dispersi nella stagione precedente o presenti negli strati più superficiali del terreno. Le plantule della malerba emerse sono, poi, facilmente esposte all'azione devitalizzante delle basse temperature invernali. È stato osservato che con questa

tecnica, nelle condizioni tipiche delle nostre risaie, si ottenere pressoché il totale un abbattimento dei semi della malerba presenti sulla superficie della risaia.

Lotta in pre-semina anticipata. Si tratta di un intervento di devitalizzazione dei semi in germinazione, effettuato ricorrendo ad un erbicida a base di flufenacet, distribuito sulla risaia sommersa circa un mese prima della semina della coltura.

Falsa semina. Questa pratica è basata sulla preparazione del terreno e sulla sommersione della risaia almeno 20 giorni prima della semina del riso, in modo da favorire l'emergenza dell'infestante e permetterne la distruzione con mezzi chimici o meccanici. Gli interventi chimici prevedono comunemente il ricorso ad erbicidi sistemici, non residuali, quali ad esempio quelli a base di glifosate, ciclossidim, cletodim, che consentono la semina della coltura 2-3 giorni dopo la loro applicazione. L'adozione di questa tecnica consente anche il controllo di altre malerbe, quali ad esempio giavoni e ciperacee emerse prima dell'intervento di lotta, eventualmente integrando i prodotti sopra indicati con altre sostanze, in grado di ampliare lo spettro di azione. Gli interventi meccanici (sarchiature) pur efficaci nei confronti delle malerbe presenti, tendono, smuovendo il terreno, a stimolare la germinazione di nuove malerbe durante le prime fasi di sviluppo della coltura.

Nei casi della lotta in pre-semina anticipata e della falsa semina risulta vantaggioso prevedere l'applicazione di lavorazioni ridotte, in modo da mantenere la distribuzione dei semi del riso crodo negli strati più superficiali del terreno e favorire un'emergenza uniforme, migliorando conseguentemente l'efficacia degli erbicidi impiegati.

In presenza della coltura

Adozione della tecnologia Clearfield® e Provisia®. Si basa sul ricorso a varietà ottenute mediante interventi di mutagenesi e successiva selezione, in grado di tollerare specifici erbicidi contenenti imazamox (varietà Clearfield®) e ciclossidim (varietà Provisia®) non selettivi verso le tradizionali varietà di riso.

L'imazamox è un prodotto appartenente agli imidazolinoni, un gruppo chimico caratterizzato dalla capacità di inibire l'enzima ALS (Acetolattato sintasi) ed efficace nei confronti del riso crodo, oltreché della maggior parte delle altre malerbe del riso; il ciclossidim appartenente al gruppo chimico degli idrossicicloesenoni, inibisce l'enzima ACCasi (Acetil-coenzima A carbossilasi), bloccando lo sviluppo del riso crodo e delle diverse infestanti graminacee presenti, quali giavoni, panico, leptocloa, digitaria. L'alternanza delle due



Fig. 3 *Riso crodo*



Fig. 4 *Diserbatrice a barra umettante per la lotta contro il riso crodo, in presenza della coltura*

tipologie varietali abbinare ai relativi specifici erbicidi e, quando necessario, anche ad altri prodotti in grado di ampliarne lo spettro di azione, consente di controllare lo sviluppo delle malerbe, riducendo fortemente il rischio di comparsa di fenomeni di resistenza nelle stesse.

Applicazione localizzata di erbicidi sistemici ad azione totale. Vengono a questo scopo, generalmente, utilizzati prodotti contenenti glifosate distribuiti direttamente sulle piante di riso crodo, evitando il contatto con quelle delle varietà coltivate. Questa tecnica può essere applicata utilizzando un'attrezzatura a barra umettante, dotata di un telaio di forma triangolare, munito di un filo mantenuto in movimento e impregnato dell'erbicida (Fig. 4). L'attrezzatura viene regolata in altezza in modo da venire a contatto solo con gli organi apicali delle piante di riso crodo, di taglia superiore a quella della coltura.

Resistenza ai diserbanti

La presenza di popolazioni di malerbe resistenti ai diserbanti interessa oggi, di fatto, la quasi totalità della superficie risicola del nostro paese. La diffusione del fenomeno è stata favorita dalle condizioni di monosuccessione colturale e, soprattutto, dall'impiego ripetuto di erbicidi con caratteristiche simili, dovuto ad una limitata disponibilità di prodotti caratterizzati da un diverso meccanismo d'azione.

L'adozione di normative comunitarie sempre più restrittive, per quanto riguarda la sicurezza sanitaria ed ambientale, ha portato all'eliminazione dal mercato di numerosi erbicidi appartenenti a diverse classi chimiche e al mantenimento o all'introduzione di pochi prodotti, in gran parte appartenenti al gruppo degli inibitori dell'enzima ACCasi (Acetilcoenzima A carbossilasi) e a quello dell'ALS (Acetolattato sintetasi). Le specie che, nelle nostre condizioni colturali, hanno dato luogo ai maggiori problemi di resistenza, sono i giavoni (soprattutto *Echinochloa crus-galli* e *phyllopogon*), nei confronti dei diserbanti inibitori dell'enzima ALS (Acetolattato sintetasi) e dell'ACCasi (Acetil-CoA Carbossilasi), di *Schoenoplectus mucronatus*, *Cyperus difformis*, *Alisma plantago-aquatica* e riso crodo, nei riguardi di erbicidi inibitori dell'ALS.

Per contrastare il fenomeno della resistenza ai diserbanti è necessario ricorrere a una serie di pratiche che consentono di prevenirne la comparsa e di limitarne la diffusione. Sono particolarmente efficaci, a questo scopo, i programmi di gestione delle malerbe basati sull'adozione integrata di mezzi agronomici, colturali e chimici, quali la rotazione colturale (quando possibile), l'uso di sementi certificate (esenti da semi di malerbe), la rotazione e l'uso in miscela di erbicidi con diverso meccanismo d'azione, l'alternanza di modalità di semina in acqua e in asciutta e la falsa semina. È altresì necessario evitare la disseminazione delle piante sfuggite ai trattamenti, provvedendo alla loro eliminazione anche mediante interventi meccanici di erpicatura e strigliatura, sulle risaie asciutte, o di raccolta manuale.

Per quanto riguarda la scelta degli erbicidi, va altresì ricordato che pro-

dotti appartenenti a famiglie chimiche diverse possono disporre di uno stesso meccanismo d'azione e quindi presentare lo stesso rischio di induzione della resistenza (es. -FOP e -DIM, entrambi inibitori dell'enzima ACCasi). L'organismo internazionale che si occupa dello studio e della gestione della resistenza agli erbicidi, HRAC (Herbicide Resistance Action Committee), ha introdotto una classificazione degli erbicidi attribuendo una lettera dell'alfabeto ad ogni meccanismo d'azione. Questa lettera in Italia e in alcuni altri paesi viene obbligatoriamente riportata sull'etichetta dell'erbicida, in modo da permettere all'agricoltore di evitare di utilizzare ripetutamente erbicidi con lo stesso meccanismo d'azione (con la stessa lettera). Per contenere i problemi legati alla diffusione dei fenomeni di resistenza ai diserbanti nel riso, in questi ultimi anni si è fatto sempre più frequentemente ricorso a richieste di autorizzazione temporanea (4 mesi), all'impiego di prodotti esclusi dal mercato (es. pretilachlor, napropamide), prevista dalle normative comunitarie per far fronte ad emergenze fitosanitarie.

MISURE DI MITIGAZIONE DEL RISCHIO DI CONTAMINAZIONE DELLE ACQUE DA PRODOTTI FITOSANITARI

La contaminazione dei corpi idrici superficiali e profondi da parte dei prodotti per la difesa delle colture è essenzialmente legata all'immissione diretta o indiretta degli stessi prodotti nell'acqua.

Nel primo caso, la contaminazione può essere dovuta a non corrette pratiche operative durante i trattamenti (deriva della nube irrorante) o dopo l'impiego dei prodotti (scarico delle rimanenze dei trattamenti o lavaggio delle attrezzature). La contaminazione per via indiretta è, invece, essenzialmente legata a fenomeni di ruscellamento sulla superficie del terreno e della percolazione nel suolo dei residui dei prodotti distribuiti, in conseguenza delle acque meteoriche e di irrigazione. La presenza di residui di prodotti fitosanitari nei corpi idrici può avere un significativo impatto sugli equilibri degli ecosistemi acquatici e pregiudicare le caratteristiche qualitative e sanitarie delle acque destinate all'uso umano e animale.

Per prevenire e contenere il rischio di contaminazione delle acque, sono stati emanati nell'ambito comunitario, specifici provvedimenti legislativi di indirizzo, quali la direttiva 2009/128/CE, finalizzata all'uso sostenibile dei prodotti fitosanitari e le Direttive 2000/60/CE (Direttiva Quadro sulle Acque) e 2006/118/CE, volte alla salvaguardia e alla gestione delle risorse idriche.

Con altre normative sono stati fissati, anche, limiti di presenza dei residui di prodotti fitosanitari nelle acque profonde e in quelle superficiali. Nel caso delle prime è stata stabilita la soglia di 0,1 µg/L per ogni singola sostanza e di 0,5 µg/L per l'insieme delle sostanze presenti, come già previsto dalla direttiva 98/83/CE (recepita con D.Lgs. 31/2001) per le acque destinate all'uso potabile indipendentemente dalle caratteristiche tossicologiche ed ecotossicologiche delle diverse sostanze.

Per quanto riguarda le acque superficiali si fa riferimento alla soglia di 0,1 µg/L per ogni singola sostanza e di 1 µg/L per l'insieme delle sostanze; nel caso di alcune sostanze si considerano, invece, gli Standard di qualità ambientale (SQA), cioè limiti ambientali specifici, stabiliti a livello europeo e nazionale. Nell'ambito di queste sostanze rientrano prodotti inseriti in una "lista di priorità" quali DDT, esaclorobenzene, lindano, insetticidici ciclodienici policlorurati (aldrin, dieldrin, endrin, isodrin) atrazina, da molto tempo non più in commercio in Italia e in Europa.

Gli ecosistemi risicoli sono considerati particolarmente vulnerabili per quanto riguarda il rischio di contaminazione delle acque. Nella coltivazione del riso le acque presenti nelle camere di risaia sono in diretto contatto con quelle circolanti nella rete idrica (fossi, canali, risorgive) e l'applicazione dei prodotti fitosanitari viene comunemente effettuata su risaia sommersa o sgrondata, ma satura d'acqua.

Nel primo caso le sostanze utilizzate vengono distribuite anche direttamente sull'acqua che ricopre il terreno; nei trattamenti su risaie sgrondate, la contaminazione rischia di determinarsi a seguito del rilascio dei residui delle sostanze precedentemente distribuite all'acqua utilizzata per il ripristino della sommersione.

Le sostanze considerate a maggior rischio di contaminazione delle risorse idriche sono, in genere, gli erbicidi, nella forma originaria o come loro metaboliti, come risulta dai rapporti sui risultati dei monitoraggi svolti, da anni, in modo sistematico dalle agenzie regionali per l'ambiente del nostro paese. Tali evidenze sono dovute al maggior impiego, in termini quantitativi oltre che, in generale, alla più elevata persistenza e solubilità in acqua di questo gruppo di sostanze, rispetto ad altre tipologie di prodotti fitosanitari.

Le misure adottate per la mitigazione del rischio di contaminazione delle acque superficiali nell'ambiente della risaia derivano dai riscontri sperimentali sulla dinamica di degradazione dei diversi composti, in base ai quali i residui dei prodotti utilizzati vengono in gran parte degradati nei primi 7-10 giorni dopo la loro applicazione. In relazione a questi aspetti, dopo la distribuzione dei prodotti è necessario mantenere chiuse le bocchette di entrata e uscita delle ac-

que delle camere di risaia per almeno 7-8 giorni, per favorire la degradazione dei prodotti fitosanitari impiegati e limitarne il rilascio nella rete del sistema irriguo.

Le ricerche hanno anche permesso di osservare che nel caso dei prodotti utilizzati su risaia sgrondata, durante il ripristino della sommersione, si può determinare il trasporto verso le bocchette di uscita dei residui dei prodotti fitosanitari distribuiti, con un significativo aumento della concentrazione tra la parte della camera, vicina alle bocchette di entrata (a monte) e quella prossima alle bocchette di uscita (a valle). Per limitare questo fenomeno è opportuno far defluire molto lentamente l'acqua durante l'operazione di riempimento della risaia, in modo da ridurre il trasporto e l'accumulo dei residui dei prodotti fitosanitari in prossimità della bocchetta di uscita e contenere i rischi di contaminazione delle acque di irrigazione dopo la sua riapertura per la riattivazione della circolazione idrica.

Per le stesse ragioni è altrettanto importante stabilire un buon livellamento del terreno, allo scopo di evitare la formazione di un maggior strato d'acqua nella parte a valle delle camere.

La contaminazione è talvolta legata alla immissione diretta delle sostanze impiegate nelle acque dei fossi e dei canali, a causa di una loro non corretta distribuzione.

Merita ricordare, a questo riguardo, che l'immissione di 1 grammo di sostanza attiva di un prodotto fitosanitario all'inizio di un canale di 30 km di lunghezza, 1 metro di larghezza e con acqua a 30 cm di profondità, determina la contaminazione di un residuo dello stesso prodotto superiore a quello stabilito dalle attuali normative (0,1 µg/L) per l'intero corpo idrico.

La mitigazione del rischio di contaminazione diretta dei corsi d'acqua superficiali può essere ottenuta mediante la riduzione della deriva e con l'adozione di fasce tampone vegetate, cioè di aree di rispetto non sottoposte a trattamento. Nell'ambiente di risaia le aree di rispetto possono anche essere costituite da argini di adeguata ampiezza mantenuti ricoperti da vegetazione permanente erbacea e arborea e disposti tra i corsi d'acqua e le camere di risaia (fig. 6). Questi argini consentono anche la circolazione dei mezzi meccanici utilizzati nelle diverse operazioni colturali nel sistema risaia (lavorazione, concimazioni, distribuzione dei fitosanitari, ecc.).

Per ridurre efficacemente la deriva è necessario che durante la distribuzione dei prodotti fitosanitari vengano adottati corretti parametri operativi, con particolare riferimento alla taratura e alla regolazione dell'attrezzatura di distribuzione, alla pressione di esercizio e al volume di acqua utilizzata, oltre che alla velocità di avanzamento e all'utilizzazione di ugelli antideriva e di fine barra.



Fig. 5 Forte rischio di contaminazione diretta dell'acqua da prodotti fitosanitari



Fig. 6 Fascia tampone per la mitigazione del rischio di contaminazione delle acque da prodotti fitosanitari

CONCLUSIONI

Il riso assume una posizione di rilievo nel panorama colturale italiano, non solo per il suo fondamentale ruolo nell'economia agricola del paese, ma anche per la sua importante valenza ecologica. Fornisce, infatti, una produzione di riconosciuta qualità, destinata, per quasi il 60%, all'esportazione, consente,

inoltre, di valorizzare in modo efficiente l'acqua nei territori in cui essa è naturalmente disponibile, che, diversamente, rischierebbe di venire perduta.

La risicoltura italiana può essere considerato un sistema di coltivazione intensivo sostenibile, caratterizzato dall'adozione delle diverse moderne tecnologie disponibili in agricoltura, finalizzata all'innalzamento dei livelli qualitativi e produttivi oltre che alla salvaguardia della sicurezza ambientale e sanitaria. La maggior parte di questi obiettivi, non sempre facilmente conciliabili tra di loro, hanno potuto essere raggiunti grazie, soprattutto, alla volontà e alla capacità dei risicoltori di utilizzare le conoscenze messe a disposizione dalla ricerca agronomica, genetica e tecnologica. Un ulteriore sviluppo della intensificazione sostenibile in risicoltura si avrà, prevedibilmente, a seguito dell'introduzione di varietà altamente produttive e di elevata qualità, in grado anche di tollerare naturalmente le avversità, in particolare il brusone, limitando la necessità di ricorrere a trattamenti con prodotti fitosanitari.

Colture industriali

L. BARBANTI¹, G. MOSCA², G. CAMPAGNA³, P. STEVANATO²

Barbabetola da zucchero. Agronomia e coltivazione

¹ DISTA, Università di Bologna

² DAFNAE, Università di Padova

³ COPROB, Minerbio (BO)

Nel 2019 la superficie italiana destinata a barbabetola da zucchero è stata di 29.967 ha, suddivisi in 28.597 ha circa gestiti con metodo convenzionale e 1.370 ha in regime biologico. La remunerazione di dette superfici è drasticamente cambiata rispetto al passato, in un quadro di riferimento che per il settore è rappresentato dai prezzi mondiali dello zucchero. C'è pertanto bisogno di aumentare la produttività per salvaguardare il reddito della coltura. La barbabetola conosce al pari di altre colture un continuo processo di affinamento teso a migliorare l'efficienza produttiva. È difficile parlare di notevoli balzi in avanti realizzati nel recente passato o attesi nel futuro imminente. Il settore è tuttavia promettente, anche dal punto di vista dell'approfondimento di ricerca. Si sottolinea l'importanza di dedicare degli specifici investimenti alla ricerca genetica per tentare di offrire nuove varietà al mercato: cultivar che per aumentata rusticità, tolleranza alle fitopatie e adattamento all'ambiente pedoclimatico italiano si prestino meglio delle esistenti alla produzione in biologico. Tra le novità in grado di risollevare il reddito dei bieticoltori, vi è il passaggio al metodo biologico. La scommessa consiste nel produrre le 8-9 t/ha di saccarosio grezzo biologico contro le 10-13 t/ha raggiungibili in coltivazione convenzionale. Il passaggio non è impossibile, ma gli ostacoli non sono pochi e gli strumenti per ovviare a questi non sono molti. Coloro che non avessero intenzione di passare al biologico, se hanno nel terreno, nella scelta varietale e negli input produttivi una potenzialità per raggiungere almeno le 12 t/ha di saccarosio possono proseguire. In qualche annata si raggiungeranno solo le 10 t/ha, ma nella media pluriennale il risultato complessivo potrebbe risultare accettabile. Viceversa, nelle aziende agricole in cui non si oltrepassano le 10 t/ha, difficilmente la bieticoltura potrà continuare a essere economicamente sostenibile. L'irrigazione rivestirà un ruolo crescente nel miglioramento della coltura,

alla luce della transizione climatica che rende sempre più erratiche le precipitazioni. Se ne deduce che specie gli agricoltori che dispongono di impianti irrigui semoventi (pivot e ali traslanti) non dovrebbero abbandonare la bieticoltura. Per la sostenibilità della coltura in biologico, bisogna tenere sotto controllo, innanzitutto, le malerbe nell'arco dell'intera rotazione (almeno quadriennale). A questo riguardo sarebbe vantaggioso disporre di varietà più competitive nei confronti delle malerbe, con rapida colonizzazione del suolo da parte dell'apparato radicale, carattere determinante dell'abilità competitiva nei confronti delle infestanti. Per il controllo meccanico delle malerbe, sono ormai disponibili delle nuove macchine per rinettare anche sulla fila attraverso riconoscimento ottico delle piante. Sono in grado, quindi, di eseguire un lavoro più preciso e veloce. Alcune di queste diserbatrici meccaniche rivestono un particolare interesse anche per il metodo convenzionale, potendo ridurre il numero degli interventi chimici (foto 1 e 2). Relativamente agli insetti dannosi, risultati interessanti sono stati ottenuti con l'impiego di bordure attrattive per l'altica (*Chaetocnema tibialis* Illiger), coleottero che attacca le giovani plantule generando nei casi più evidenti una certa depressione vegetativa. Per quanto riguarda la resistenza alle malattie, l'impiego delle nuove varietà con doppia resistenza alla rizomania (Beet necrotic yellow vein virus, BNYYV) rappresentano una novità di rilievo perché consentono una più efficace protezione dal virus con significativi miglioramenti di produzione rispetto alle varietà tradizionali, soprattutto nei terreni gravemente infetti. Per limitare al massimo i danni produttivi e qualitativi causati dalla cercospora, si conferma la necessità di applicare rigidamente le varie misure operative di lotta integrata ed è consigliabile soprattutto in biologico l'utilizzo di varietà dotate di tolleranze o resistenze a buoni livelli. Le varietà tolleranti ai nematodi vanno bene, ovviamente dove ci sono i nematodi; dove non sono presenti non aggiungono nulla alle già consolidate tolleranze alla rizomania e alla cercospora.

L'incremento continuo della produttività raggiunto in altri Paesi europei, anche a latitudini intermedie, in Italia non è stato verificato, anche contraindicando di molto le superfici con esclusione delle aziende meno produttive. Evidentemente le nostre condizioni ambientali (forte soleggiamento, elevate temperature estive anche notturne, terreni molto argillosi con rischio di stress idrico) rappresentano un ostacolo all'accumulo di importanti quantità di saccarosio a causa di un marcato effetto della retrogradazione. Si sottolinea che gli strumenti per migliorare e le energie investite purtroppo vengono sempre più erose dall'aggravio climatico. Per cercare di mitigare queste condizioni ambientali avverse, si sta diffondendo l'impiego di nuovi trattamenti fogliari



Foto 1 e 2 Sarchiatrice a riconoscimento visivo delle file per una migliore precisione e operatività di lavoro, munita di elementi rotanti in grado di interagire sulle file. Utilizzata in conduzione biologica della bietola, può fornire ottimi risultati anche in coltivazione tradizionale, a integrazione della gestione delle malerbe per una maggior sostenibilità e riduzione dell'impatto ambientale (Foto Campagna G.)

ad azione biostimolante. Il risultato della loro applicazione è un aumento in generale dell'attività metabolica delle piante, spesso associata ad un aumento della produzione e della qualità. Un'ultima novità che potrebbe rafforzare la posizione della bieticoltura nazionale non rappresenta un'acquisizione del tutto nuova per il settore bieticolo-saccarifero. Si tratta della bietola a semina autunnale coltivata al centro-nord in aree vocate (Marche, Romagna ed altre propaggini di Pianura Padana non troppo lontane dal mare). Il combinato disposto di inverni sempre più miti, come il recente inverno 2019-20, e di migliorate tolleranze alla prefioritura possedute dal materiale genetico di più recente costituzione, lasciano intravedere delle buone prospettive per il ritorno della bieticoltura autunnale. Questo permetterebbe di ottenere un anticipo della raccolta, e quindi una più lunga campagna di lavorazione dei fittoni. Si otterrebbe una maggiore produzione di zucchero a livello di zuccherificio, con migliori produzioni unitarie di saccarosio e minori consumi idrici. Oltre al miglioramento della tolleranza alla prefioritura, un'altra caratteristica da ricercare con priorità è la resistenza alle basse temperature che potrebbe consentire una riduzione delle fallanze che di norma si verificano non solo

con le semine autunnali ma anche con quelle anticipate a febbraio. Si ritiene infine che la maggior attenzione imposta dalla coltivazione in regime biologico si integri con quella propria della bietola autunnale in una combinazione possibile per i bieticoltori italiani.

A. LANTE¹, P. TESSARI¹, G. MOSCA¹

Innovare con la soia

¹ DAFNAE, Agripolis Università di Padova

La crescente domanda di proteine vegetali può essere un'opportunità per rilanciare la filiera della soia che vede l'Europa largamente deficitaria con solo lo 0,7% della produzione su base mondiale rispetto a Stati Uniti, Brasile e Argentina che rappresentano l'82% del mercato globale di questa commodity. In questo contesto sono comprensibili le tensioni che possono provocare i dazi e gli inevitabili effetti sull'agricoltura locale che si trova spesso in grande difficoltà. Ridurre la dipendenza dalle importazioni è sicuramente un obiettivo importante che trova nella coltivazione della soia anche altre motivazioni che si possono riassumere:

- a. come leguminosa può significativamente rispondere a una crescente esigenza di salvaguardia dell'ambiente, migliorando tramite l'azotofissazione simbiotica la disponibilità di azoto organico nel terreno;
- b. la coltivazione della soia in avvicendamento con i cereali è considerata agronomicamente valida per la conservazione della fertilità del suolo e il risparmio di azoto di sintesi a parità di resa del cereale che segua a un diverso precedente colturale almeno per i cereali a paglia autunno-vernini e primaverili;
- c. la soia rappresenta la migliore fonte di proteina vegetale a elevato contenuto di aminoacidi essenziali per il settore alimentare;
- d. dalla soia si possono ricavare numerosi prodotti e ingredienti con funzioni tecnologiche diverse (emulsionanti, leganti e agenti strutturanti);
- e. la soia contiene sostanze bioattive, in particolare gli isoflavoni¹, a cui sono

¹ Gli isoflavoni sono composti presenti in diverse specie vegetali, in particolare le *Papilionaceae* sono maggiormente vocate alla concentrazione di queste molecole. La pianta di soia ad esempio secerne dei composti che le permettono di interagire con la microflora del suolo, si tratta di

attribuiti anche numerosi effetti salutistici tra cui proprietà antiossidanti e antinfiammatorie, di riduzione dell'osteoporosi e di frattura del femore, di miglioramento dell'omeostasi glucidica, nonché la capacità di modulare i recettori per gli estrogeni. A quest'ultimo effetto sembrerebbe essere attribuita la correlazione inversa tra isoflavoni e il carcinoma della prostata o alcune forme di carcinoma mammario (evidenziata tuttavia in popolazioni orientali, ma non occidentali). Al contrario, gli isoflavoni della soia non sembrano influenzare il rischio di malattie cardiovascolari.

È stato dimostrato che genotipo-fenotipo, ambiente di coltivazione e modalità di stoccaggio svolgono un ruolo importante nell'accumulo e nella conservazione degli isoflavoni nei semi di soia. Queste variabili potrebbero essere gestite più facilmente disponendo di sistemi di raccolta, elaborazione, interpretazione automatizzata e trasferimento di informazioni e dati, grazie all'automazione di attività produttive altrimenti non collegate. Un esempio può essere la gestione della raccolta del prodotto, un momento cruciale per tutti gli attori della filiera produttiva e anche un'opportunità per tracciare e certificare i prodotti dal campo allo scambio merci fino all'industria di trasformazione e alla catena di distribuzione.

Le problematiche di differenziazione del prodotto in funzione del suo impiego nelle filiere collegate alla produzione primaria risultano acute dalla globalizzazione dei mercati. Ecco perché la qualificazione del prodotto (destinato al settore alimentare, nutraceutico e mangimistico) è una delle strategie innovative che possono utilizzare i produttori per cercare di ottenere una miglior remunerazione in funzione del maggior valore di trasformazione finale. Il prodotto differenziato potrebbe trovare nuove forme di utilizzazione nei canali nazionali di trasformazione che attualmente impiegano esclusivamente soia di importazione.

È importante ricordare che i disciplinari di produzioni DOP strategiche per l'Italia (prosciutto crudo, grana padano, parmigiano reggiano) richiedono

alcuni tipi di essudati radicali che sono riconosciuti dal batterio simbiote (*Bradyrhizobium japonicum*) e inducono in esso un cambio di comportamento. I flavonoidi (isoflavoni) prodotti dalle radici sono un indicatore dell'espressione dei geni batterici necessari alla nodulazione. È stato dimostrato che la presenza di queste molecole, la genisteina in particolare modo, è associata a una importante nodulazione e a un cospicuo tasso di fissazione dell'azoto atmosferico. La concentrazione in isoflavoni negli estratti radicali può dunque essere un indicatore del potenziale di nodulazione e di fissazione di una data varietà e dunque indirettamente del suo metabolismo azotato. Gli isoflavoni sono attivi nella difesa della pianta dagli attacchi dei patogeni, sono infatti delle fitoalessine che contribuiscono a limitare l'estensione delle infezioni batteriche e fungine. Gli isoflavoni inoltre giocano un ruolo importante nella difesa dagli stress abiotici come l'esposizione ai raggi ultravioletti.

che gli animali siano alimentati con materie prime di origine nazionale e quindi la sopravvivenza di queste eccellenze del *made in Italy* dipende dall'esistenza di una coltivazione locale².

Il settore degli integratori e degli alimenti funzionali costituisce un importante riferimento in continua crescita che garantirebbe l'assorbimento di soia di alta qualità e anche il settore cosmetico si potrebbe avvantaggiare di questa opportunità, utilizzando non solo la soia a elevato contenuto di isoflavoni, ma anche gli isoflavoni stessi, estratti direttamente in azienda, da sottoprodotti della lavorazione del seme.

Schema per l'attivazione di una filiera "soia alta qualità" (contenuto di proteina/ isoflavoni):

1. identificazione di marcatori molecolari associati a geni che controllano il contenuto di proteina, il colore dell'ilo e la produzione di isoflavoni nei semi di soia;
2. selezione genetica di varietà di soia ad elevato contenuto di proteina/ isoflavoni e prive di inibitori della tripsina³;
3. coltivazione di soia ad alto contenuto di proteina/ isoflavoni, utilizzando sistemi di raccolta, elaborazione, interpretazione automatizzata e trasferimento di informazioni e dati;
4. messa a punto di metodi rapidi per la qualificazione del prodotto da destinare al settore alimentare, nutraceutico e mangimistico;
5. attivazione e certificazione della filiera "soia alta qualità" (contenuto di proteina/ isoflavoni);
6. possibilità di recupero degli isoflavoni dai sottoprodotti di lavorazione della soia.

BIBLIOGRAFIA

- CHEN M., RAO Y., ZHENG Y., WEI S., LI Y., GUO T., YIN P. (2014): *Association between soy isoflavone intake and breast cancer risk for pre- and post-menopausal women: A meta-analysis of epidemiological studies*, «PLoS ONE», 9, e89288.
- CHEN M., RAO Y., ZHENG Y., WEI S., LI Y., GUO T., YIN P. (2014): *Association between*

² Nella soia sono stati studiati anche composti che hanno manifestato un effetto negativo sul metabolismo, i così detti inibitori della tripsina (Kunitz e Bowman Birk). Dette sostanze sono presenti nel seme di soia sia nel germe che nei cotiledoni, nonché in tutti i prodotti di lavorazione del seme. Di norma gli inibitori vengono denaturati per trattamento termico e quindi non sono presenti in alcuni derivati, o lo sono con concentrazione diversa in funzione del tipo di lavorazione subita.

³ Cfr. nota 2.

- soy isoflavone intake and breast cancer risk for pre- and post-menopausal women: A meta-analysis of epidemiological studies*, «PLOS ONE», 9, e89288.
- FALCÃO H.G., SILVA M.B.R., DE CAMARGO A.C., SHAHIDI F., FRANCHIN M., ROSALEN P.L., ALENCAR S.M., KUROSZAWA L.E., IDA E.I. (2019): *Optimizing the potential bioactivity of isoflavones from soybeans via ultrasound pretreatment: Antioxidant potential and NF-κB activation*, «J. Food Biochem.», Nov, 43 (11): e13018.
- JHENG H.F., HAYASHI K., MATSUMURA Y., KAWADA T., SENO S., MATSUDA H., INOUE K., NOMURA W., TAKAHASHI H., GOTO T. (2020): *Anti-Inflammatory and Antioxidative Properties of Isoflavones Provide Renal Protective Effects Distinct from Those of Dietary Soy Proteins against Diabetic Nephropathy*, «Mol. Nutr. Food Res.», May, 64(10): e2000015.
- LANTE A., BARION G., ZANNONI S., PASTORE M.R., TINELLO F., DAL CORTIVO C., VAMERALI T., MOSCA G. (2018): *An ecofriendly procedure to extract isoflavones from soybean seeds*, «Journal of Cleaner Production», 170, pp. 1102-1110.
- LEE H., CHOUH R., LIM H.E. (2017): *Effect of soy isoflavones supplement on climacteric symptoms, bone biomarkers, and quality of life in Korean postmenopausal women: A randomized clinical trial*, «Nutr. Res. Prac.», 11, pp. 223-231.
- LI Z., HONG K., SALTSMAN P., DESHIELDS S., BELLMAN M., THAMES G., LIU Y., WANG H.J., ELASHO R., HEBER D. (2005): *Long-term efficacy of soy-based meal replacements vs an individualized diet plan in obese type II DM patients: Relative effects on weight loss, metabolic parameters, and C-reactive protein*, «Eur. J. Clin. Nutr.», 59, pp. 411-418.
- MADONIA M., CIMINO S. ET AL. (2018): *Association between dietary phytoestrogens intakes and prostate cancer risk in Sicily*, «Aging Male», 21, pp. 48-54.
- MARZENA P., MAŁGORZATA M. (2019): *Biological Effect of Soy Isoflavones in the Prevention of Civilization Diseases*, «Nutrients», Jul 20, 11 (7), 1660.
- RUSSO G.I., DI MAURO M., REGIS F., REALE G., CAMPISI D., MARRANZANO M., LO GIUDICE A., SOLINAS T., TESSARI, P., LANTE, A., MOSCA, G. (2016): *Essential amino acids: master regulators of nutrition and environmental footprint*, «Scientific reports», 6, 26074.
- TURHAN N., BOLKAN. F., ILTEMIR. D., ARDICOGLU Y. (2008): *The effect of isoflavones on bone mass and bone remodeling markers in postmenopausal women*, «Turk. J. Med. Sci.», 38, pp. 145-152.
- VAMERALI T., BARION G., HEWIDY M., MOSCA G. (2012): *Soybean isoflavone patterns in main stem and branches as affected by water and nitrogen supply*, «Europ. J. Agr.», 41, pp. 1-10.
- ZHENG X.L.S., LEE S.K., CHUN O.K. (2016): *Soy isoflavones and osteoporotic bone loss: A review with an emphasis on modulation of bone remodeling*, «J. Med. Food», 19, pp. 1-14.

G. MOSCA¹, A. ALPI²

Soia: carta della coltivabilità

¹ DAFNAE, Università di Padova

² Accademia dei Georgofili

Questo documento raccoglie una serie di raccomandazioni utili per una corretta impostazione della coltura della soia e la sua buona riuscita nell'ambito dell'areale della Pianura Padana dove si colloca il 90% circa della superficie. Il raggiungimento di rese elevate (4 t/ha e più) passa per una scrupolosa osservanza di queste regole.

SCELTA VARIETALE. SCEGLIERE LA VARIETÀ SEGUENDO DEI CRITERI BEN COLLAUDATI

Riguardo la precocità, la somma termica e la durata del ciclo: scegliere nell'ambito del corretto gruppo di maturazione. In Valle Padana per colture principali la varietà è consigliabile appartenga al gruppo I – I+ di maturazione; nel caso di colture di secondo raccolto, ad esempio dopo orzo (metà giugno), si consiglia un gruppo 0 - 0+. Scegliere varietà ad accrescimento indeterminato. Per favorire la produzione e la sua stabilità è consigliabile seguire le raccomandazioni divulgate dagli organismi regionali cui è demandato il compito di valutare i nuovi materiali commerciali (ad esempio consultare le schede varietali prodotte dall'Agenzia regionale Veneto Agricoltura). Le prove di adattamento e resa attualmente vengono realizzate solo dalla Regione Friuli V.G. Non esiste una vera rete interregionale per poter meglio confrontare e interpretare i risultati come è stato fatto per i cereali. Non rimane che rilanciare con molto vigore la collaborazione fra sementieri, enti di ricerca regionali e agricoltori.

Evitare il reimpiego di seme riprodotto in azienda. Il seme autoriprodotta contribuisce, secondo il CETIOM oggi Terres Inovia francese, alla diffusione del virus del mosaico della soia che si trasmette principalmente per seme, nel quale si con-

serva. Non vi sono metodi semplici per verificare la sanità o meno del seme, per ottenere la certezza qualitativa occorre rivolgersi a ditte sementiere serie e capaci.

Sempre nell'ambito della scelta varietale, la maturazione in assenza di allettamento risulta più rapida e regolare, inoltre su piante ben erette, utilizzando testate raccogliatrici dotate di convogliatori alza-bacelli, viene facilitata la raccolta meccanica dei bacelli inseriti in basso sul fusto principale. Produrre poi del seme ricco in composti azotati (almeno 40% di proteina grezza) offre la possibilità di corrispondere ai desiderata di alcune industrie agroalimentari (soyfood e nutraceutica). Nel caso di aziende zootecniche queste possono opportunamente ricorrere a varietà scarse/prive di fattori antitriptici il cui seme potrà essere somministrato direttamente agli animali senza ricorrere al classico trattamento termico.

AVVICENDAMENTO COLTURALE. LA "CHIAVE DI VOLTA"

In Val Padana la successione colturale si presenta differenziata. In Friuli e in tutta la Lombardia, a esclusione della provincia di Mantova, e in buona parte del Piemonte la soia viene inserita tra due mais (per granella o trinciato). In Veneto e in gran parte dell'Emilia molto spesso è presente il frumento. Specie nelle aziende zootecniche o in quello in cui il mais è destinato a produrre biogas, ad esempio in Lombardia, la soia viene introdotta per rispettare la condizionalità imposta dal PSR.

Di norma la soia può seguire o precedere numerose colture a esclusione di colza e girasole che risultano accomunate alla leguminosa da motivi di ordine parassitario (si temono attacchi di *Sclerotinia* sp., specialmente nelle zone destinate alla coltivazione dei radicchi). È preferibile pertanto separare nettamente le tre colture nell'avvicendamento o addirittura escluderne due.

Vale la pena di sfruttare il cosiddetto "effetto soia" (rilascio nel terreno di circa 50 kg/ha di N o più) che si manifesta con maggiore ampiezza dopo la coltura del frumento (utilizzatore di tutto l'N disponibile nel terreno a favore quindi della simbiosi fissatrice) rispetto al mais, è preferibile quindi che per esaltare l'effetto soia la leguminosa sia inserita tra mais e frumento oppure tra due colture di frumento (v. Veneto).

PREPARAZIONE DEL TERRENO E SEMINA. SCEGLIERE CON CURA GLI APPEZZAMENTI

La soia può essere coltivata in diversi tipi di terreno. Sono da evitare i suoli eccessivamente calcarei (oltre il 10%) perché si possono verificare fenomeni

di clorosi ferrica che limita la formazione e la funzionalità dei noduli e più in generale riduce l'accrescimento della coltura. Nel caso di coltura asciutta, sono da evitare i suoli troppo sciolti o addirittura sabbiosi, poveri di riserva idrica, che comporterebbero risposte produttive modeste e contenuti in proteina irregolari.

1. *Preparare il terreno per favorire la formazione di un apparato radicale ricco di noduli*

Gli interventi sul terreno devono garantire alla pianta un ambiente idoneo all'accrescimento attraverso il miglioramento dell'uso dell'acqua, il contenimento della flora reale, la conservazione della sostanza organica e in particolare un'omogenea distribuzione del sistema radicale lungo il profilo.

La preparazione del terreno può avvenire tramite la tradizionale motoratura, anche se non molto profonda (20-25 cm), oppure, quando le infestanti sono state poste sotto controllo e non rappresentano più un problema, si può intervenire con una "minima lavorazione" ad esempio con lo *strip-tillage*, o lavorazione a strisce, che consiste in una lavorazione superficiale del terreno (profondità di circa 15 centimetri) su fasce larghe al massimo 15 centimetri, intervallate da fasce dove vengono lasciati in superficie tutti i residui colturali. O addirittura con la "semina diretta" su terreno compatto. In tutti i casi vale la pena limitare l'eccessiva trafficabilità del suolo, contenendo il numero dei passaggi, da un lato, e garantirsi un suolo sufficientemente affinato e ben livellato in superficie dall'altro. Queste raccomandazioni vanno poste in relazione, oltre che alle ben note caratteristiche pedologiche del suolo (porosità, stabilità della struttura e contenuto di sostanza organica), direttamente con la formazione di un apparato radicale ben sviluppato e ricco di tubercoli attivi.

2. *Semina poco profonda, operazione da effettuare lentamente*

Iniziare a seminare quando nel terreno si raggiungono i 10°C e di norma dopo la semina del mais. In un terreno sufficientemente riscaldato seminare a una profondità di 2-3 cm. Attenzione alla predazione da uccelli poiché per semine troppo anticipate, allo stadio cotiledonare, il rischio di eccessive fallanze in seminativi isolati può essere evidente. È possibile impiegare dei repellenti olfattivi.

La dose di seme può variare in relazione alla precocità della varietà e alla dimensione e peso del seme. Per varietà di gruppo I di maturazione si consiglia un investimento di 35-40 semi/m², mentre per varietà di tipo 0 la densità può aumentare a 40-45 semi/m². È preferibile usare velocità di avanzamento di 6 km/h come massimo.

Di norma si adottano distanze tra le file di 45 cm. Si consiglia di evitare l'uso di seme "vecchio", poiché la presenza di una discreta frazione lipidica, in caso di lesioni, può ridurne la conservabilità e favorire l'irradimento (diminuiscono in questo caso germinabilità ed energia germinativa).

Inoculare il seme anche se il terreno è già stato coltivato a soia in precedenza, oppure astenersi dal farlo nel caso in cui la soia precedente sia risultata ben nodulata. La soia si rifornisce in azoto attraverso due vie: da radice e tramite i noduli radicali. L'assimilazione dell'azoto da radice è la via comune a tutte le piante coltivate e il suo ruolo è rilevante soprattutto nella prima parte del ciclo. La via simbiotica prende avvio da un processo biologico tra la soia da un lato e un microsimbionte (*Bradyrhizobium japonicum*) dall'altro, denominata azotofissazione. Questo secondo tipo di assimilazione è preponderante nella seconda parte del ciclo. Le proporzioni fra le due vie della nutrizione azotata sono molto oscillanti. Di norma in un terreno ben coltivato oltre il 50% (e fino al 60%) dell'azoto assorbito proviene dalla fissazione dell'azoto atmosferico. Nei casi migliori la quantità di derivazione simbiotica può anche spingersi oltre arrivando al 70-80% del totale.

Se il terreno non è mai stato precedentemente coltivato a soia, oppure non lo è stato per un certo periodo, è indispensabile apportare il batterio specifico tramite inoculazione della semente. Un tempo si utilizzavano degli inoculi pastosi (veicolati su torba sterile e grafite) che andavano mescolati omogeneamente con il seme, fuori dalla luce solare diretta e con l'aggiunta di piccole quantità di acqua (decolorata). Oggi per motivi di costo di produzione si impiegano quelli solidi (polverulenti o granulari) che si attivano però con un certo ritardo.

NUTRIZIONE E CONCIMAZIONE

Controllare lo stato della nodulazione specie negli appezzamenti che appaiono "ingialliti". Si afferma che una coltura è ben nodulata quando sulla radice si sono formati almeno 30 noduli attivi. L'attività nodulare si mette in eviden-

za sezionando alcuni tubercoli e verificando che la colorazione interna risulti di colore “rosso mattone”.

Nel caso non si siano formati tubercoli o non risultino di colore appropriato, si dovrà provvedere intervenendo con un apporto di azoto complementare.

La soia è una pianta che ha bisogno di limitati apporti di concime. Per non ostacolare il processo naturale di fissazione dell'azoto atmosferico non è previsto alcun apporto di azoto in pre-semina (no liquami o letame, no concimi chimici direttamente in coltura). Gli unici casi in cui si deve concimare con azoto sono:

- a) periodo di semina molto piovoso e freddo (la soia stenta a nodulare: sono necessarie circa 2-3 settimane dalla germinazione perché i noduli si attivino e inizino a funzionare): in questo caso si può intervenire con 30 kg/ha N;
- b) se dopo altre 2-3 settimane non si notano noduli sulle radici: si concima come fosse una normale coltura con 100-150 kg/ha di N a seconda del precedente colturale.

P_2O_5 : 80 kg/ha (in presemina a tutto campo); alcune aziende circa la metà lo localizzano alla semina.

K_2O : 50 kg/ha (interrato in presemina). Nel caso di minima lavorazione o non lavorazione è consigliabile tener conto dei fabbisogni fosfo-potassici bilanciando gli apporti nell'arco dell'intero avvicendamento

IRRIGAZIONE

Se si deve irrigare, proseguire fin quasi alla maturazione dei baccelli.

In Veneto, basso Friuli e in Emilia genere la soia in semina primaverile non è una coltura irrigua. Diventa irrigua in Lombardia (sinistra PO), Piemonte e fascia intermedia del Friuli. In Lombardia si coltiva soia dopo orzo, meglio dopo un primo taglio di loiessa dato che in questo caso il ciclo della leguminosa assomiglierà a quello di una coltura principale. Essa richiede meno acqua del mais e non manifesta particolari stadi critici, ma solamente fasi sensibili quali la fioritura (stadio R1: primo fiore), la formazione dei baccelli (R3-R5 riempimento). La minore sensibilità allo stress idrico rispetto al mais, unitamente alla scelta di varietà ad accrescimento indeterminato (con fioritura scalare), garantiscono livelli produttivi sufficienti anche in condizioni di stress prolungato, senza ricorrere all'irrigazione.

IL CONTROLLO DELLE INFESTANTI.

IL DISERBO RAPPRESENTA LA CRITICITÀ MAGGIORE

Controllare le malerbe fin dall'inizio e gestire il diserbo chimico nell'arco dell'intero avvicendamento. Le malerbe sono il principale fattore limitante la produzione della soia. In Veneto, ad esempio, se non venisse attuato alcun intervento di controllo, mediamente si perderebbe il 40% circa della produzione. Ne consegue che il diserbo e tutte le pratiche colturali che possono ridurre l'impatto delle malerbe devono essere attuati con attenzione. Le malerbe che infestano la soia sono numerose e per la maggior parte con ciclo biologico annuale. Nell'areale veneto sono state censite oltre 100 specie diverse, anche se quelle dominanti sono rappresentate da un gruppo molto ristretto. Rispetto al mais la soia viene seminata in un periodo relativamente più caldo il che la rende meno coinvolta dalle malerbe primaverili strette e dalle indifferenti e maggiormente dalle estive, più termofile. Le specie principali sono risultate *Amaranthus* sp., *Echinochloa crus-galli*, *Chenopodium album*, *Solanum nigrum* e *Sorghum halepense*. In sintesi secondo il CNR IPSP di Padova si devono considerare alcuni elementi di gestione integrata.

1. Garantire una rapida copertura del terreno.
2. Integrare il mezzo chimico con quelli meccanici.
3. Il diserbo chimico non va programmato solo nell'ambito della coltura, ma anche durante il periodo di intercoltura o come già sottolineato meglio ancora nell'insieme della rotazione. In pratica, il *Sorghum halepense* meglio controllarlo nella soia che in mais o sorgo, le brassicacee sono più facilmente controllabili nella soia che in un'altra crucifera come il colza.
4. Intervenire subito con il controllo chimico in pre-semina e/o in pre-emergenza dato che dalla fase di emergenza fino alla prima-seconda trifogliata la coltura presenta scarsa capacità competitiva e teme la concorrenza delle malerbe.
5. Se necessario completare con uno o più prodotti in post-emergenza (dicotiledonici o graminicidi), senza dimenticare le alternative meccaniche. La suddivisione in due applicazioni separate da tre o quattro giorni d'intervallo aumenta l'efficacia dei prodotti dicotiledonici.

Il ruolo del controllo meccanico delle infestanti per lo più è di tipo complementare al diserbo chimico di pre-semina o pre-emergenza. Nel caso di soia biologica, in presenza di flora mista con media aggressività, i migliori risultati si ottengono iniziando con delle false semine a cui sono da far seguire alcuni passaggi di erpice strigliatore prima della comparsa della seconda-terza trifogliata, seguiti da una sarchiatura allo stadio R1 (inizio fioritura). La scelta

dell'erbicida, classica operazione che necessariamente comporta una buona conoscenza della flora avventizia presente (flora reale), deve basarsi sulla individuazione delle 4 o 5 malerbe più frequenti nei propri seminativi e quindi individuare il prodotto o il programma che può fornire i migliori risultati. Se necessario completare il controllo delle malerbe in post-emergenza.

Nel caso si rendesse necessario il controllo delle dicotiledoni e delle graminacee in post, è bene completare applicando prodotti di post-emergenza unicamente nelle zone più coinvolte dalla competizione. L'efficacia dei dicotiledonicidi viene migliorata trattando due volte in sequenza a metà dose, con uno scarto di 3-5 giorni.

In conclusione occorre evidenziare alcune criticità del diserbo della soia: poche specie presenti con grande produzione di semi e diffusione territoriale, pochi erbicidi utilizzabili, due soli Meccanismi di Azione degli erbicidi (ad es. inibitori della fotosintesi...) disponibili in futuro favoriranno lo sviluppo di flore di compensazione e di fenomeni di resistenza per contenere i quali sarà probabilmente necessario rivolgersi ad altri erbicidi soprattutto di pre-emergenza a maggior impatto ambientale.

Per rendere sostenibile nel tempo la tecnica di coltivazione della soia bisogna consigliare agli agricoltori di:

1. operare l'alternanza degli erbicidi (MoA) all'interno di altre colture in avvicendamento (grano e mais, in particolare);
2. ricorrere alla sarchiatura e dove possibile alla falsa semina (in biologico);
3. introduzione di interventi di mitigazione in particolare dove si intendano utilizzare erbicidi con caratteristiche eco-tossicologiche molto basse per preservare gli organismi acquatici (pesci, alghe, ecc.).

DIFESA FITOPATOLOGICA

La soia è potenzialmente soggetta a numerose fitopatie che possono causare sia riduzioni della produzione sia scadimenti qualitativi della granella. Tutte le strutture della pianta possono essere soggette all'attacco di un elevato numero di organismi patogeni. Danni possono derivare da malattie batteriche, fungine, virali e da nematodi, causate da agenti che possono essere introdotti nell'areale di coltivazione tramite materiale vegetale infetto, oppure possono essere già presenti nell'ambiente in forma quiescente, salvo manifestarsi quando la coltura viene messa in atto. Anche gli artropodi, con la loro attività trofica, possono essere causa di danni, sia direttamente che come vettori di alcuni virus o come causa di soluzioni di continuità, sfruttate dai patogeni per

infettare la pianta, semi compresi. Tra gli acari, il ragnetto rosso può risultare temibile in mancanza di una buona pullulazione dei fitoseidi, suoi diretti predatori, caso che può verificarsi soprattutto nelle estati molto calde con soia magari già stressata da carenza idrica. In tutto il mondo sono stati individuati oltre 100 organismi capaci di attaccare la soia, ma fortunatamente solo 35 di essi sono importanti dal punto di vista economico.

BIBLIOGRAFIA

- BARION G., HEWIDY M., MOSCA G., VAMERALI T. (2010): *Intraspecific variability for soybean cotyledon isoflavones in different cropping and soil conditions*, «European J. Agronomy», 33, pp. 63-73.
- BOUNIOLS A., PUECH J., MONDIES M., HERNANDEZ M. (1981): *Effet de privation d'azote à différents stades du développement du Soja : conséquences sur la mise à fleur, sur la production fructifère et sur la teneur en protéines des graines récoltées*, «C. R. Acad. Sci.», D, 293, pp. 97-102.
- MAZZONCINI M., BONARI E., LAURETI D., MARENGHI A., MOSCA G., TODERI G. (1994): *Effetti di avvicendamento della soia e del frumento sul mais*, «Agricoltura e Ricerca», 154, pp. 19-34.
- MOSCA G. (1989): *Avvicendamento culturale e nutrizione azotata della soia*, Atti Convegno internazionale su "L'azoto, la pianta, l'ambiente", VR, 15 dicembre 1988, pp. 25-33.
- MOSCA G., MERLO D., TONIOLO L. (1988): *Effetti di avvicendamento e della dose di azoto su mais e frumento in successione a soia*, «Rivista di Agronomia», 22, 4, pp. 266-272.
- SARTORATO I., BERTI A., ZANIN G. (1996): *Estimation of economic thresholds for weed control in soybean (*Glycine max* (L.) Merr.)*, «Crop Protection», 15, pp. 63-68.
- SATTIN M., MERLO D., MOSCA G. (1987): *Effect of applied nitrogen on soybean growth and yield*, «Eurosoya», 5, pp. 39-45.
- TONIOLO L., MOSCA G. (1987): *Condition optimales de culture dans la Vallée du Pò*, Colloque Soja - ONIDOL/CIS CETIOM, Toulouse 8-10 Sep. 1987, pp. 230-246.
- VAMERALI T., BARION G., HEWIDY M., MOSCA G. (2012): *Soybean isoflavone patterns in main stem and branches as affected by water and nitrogen supply*, «European J. Agronomy», 41, pp. 1-10.

Difesa delle piante

L. RUBINO¹, B. NAVARRO¹, F. DI SERIO¹

Sequenziamento ad alta prestazione per la diagnosi di patogeni delle piante: dal laboratorio al pieno campo

¹ Consiglio Nazionale delle Ricerche, Istituto per la Protezione Sostenibile delle Piante, Bari

La diagnosi precoce dei patogeni delle piante è un elemento essenziale per contenerne la diffusione, e assume particolare importanza quando ci si trova a fronteggiare nuove epidemie. I sintomi di una malattia spesso compaiono in uno stadio avanzato dell'infezione e sono ben visibili solo sulla parte aerea della pianta. Inoltre, le infezioni simultanee di più agenti patogeni possono portare a sintomatologie complesse che rendono difficile una diagnosi certa basata sulla esclusiva osservazione dei sintomi. Per aumentare l'affidabilità della diagnosi spesso si ricorre a metodi sierologici o molecolari che identificano rispettivamente una proteina o un acido nucleico del patogeno. Se però la malattia è causata da un agente patogeno ancora sconosciuto neppure questi metodi diagnostici possono risolvere il problema. Infatti, nel caso dei metodi sierologici e molecolari è necessario possedere preventivamente una conoscenza della natura del possibile agente infettivo per poter scegliere i reagenti (anticorpi, sonde molecolari o oligonucleotidi) più adatti a identificarlo. In tempi molto recenti il sequenziamento ad alta prestazione (*high throughput sequencing*, *HTS*, o *next-generation sequencing*, *NGS*) si è dimostrato estremamente efficace per l'identificazione di patogeni conosciuti, anche senza avere alcuna idea pregressa della loro presenza nel campione, o addirittura sconosciuti, mai identificati prima e quindi totalmente nuovi. Il sequenziamento ad alta prestazione ha finora avuto come limiti l'ingombro della macchina, e la necessità di svolgere alcune operazioni in laboratori specializzati e di possedere conoscenze di bioinformatica per l'elaborazione dei dati. I tempi di risposta non sono rapidi e questo può portare a ritardi nella messa in opera di strategie di intervento.

Più recentemente, è stato sviluppato un dispositivo che permette l'analisi di campioni direttamente in campo o comunque nei pressi del luogo di rac-

colta, riducendo drasticamente la necessità di infrastrutture di laboratorio o di personale esperto, ma soprattutto abbattendo i tempi e i costi delle analisi. Si tratta del MinION (Oxford Nanopore Technologies), che è stato già applicato con successo per la rilevazione di virus dell'uomo come Ebola e Zika. È un piccolo apparecchio delle dimensioni di uno smartphone, alimentato a pile, che pesa meno di 100 grammi e si collega a un qualunque computer, fisso o portatile, mediante un cavo USB (fig. 1). La tecnologia si basa appunto sui nanopori, ovvero dei pori di dimensioni infinitesime, attraverso i quali viene fatto passare un flusso di corrente di cui vengono misurate le variazioni indotte dal campione. Il MinION è stato già impiegato per l'identificazione di patogeni fungini e batterici di conifere, della patata e del grano, e soprattutto per la diagnosi di virus delle piante, quale per esempio il virus della sharka delle drupacee. Può essere utilizzato in qualsiasi ambiente al di fuori di un laboratorio, ed è stato provato nella giungla, in montagna, nell'Artide e perfino nella Stazione Spaziale Internazionale.

Ad oggi, l'applicazione in campo più eclatante è stata lo studio dei virus che attaccano la cassava (*Manihot esculenta* Crantz), che rappresenta un'importantissima fonte di nutrimento e reddito per gli abitanti dell'Africa Sub-Sahariana. I ricercatori, armati semplicemente di un MinION, di un piccolo computer e di un sistema di estrazione del DNA portatile messo a punto per l'operazione, sono stati in grado di sequenziare tutti i virus presenti nella cassava, indicando agli agricoltori le varietà resistenti da piantare. Grazie alla facilità d'uso dell'attrezzatura, l'intervento ha permesso di portare un livello di conoscenza avanzato dai laboratori direttamente agli agricoltori, e ha avuto un forte impatto sull'economia locale in tempi brevi. Infatti, la delocalizzazione nei campi delle analisi che vengono normalmente svolte in laboratorio permette di prendere assai rapidamente decisioni che con altri metodi avrebbero richiesto mesi e comportato perdite ingenti.

I vantaggi offerti dal MinION sono notevoli. I risultati vengono ottenuti nel giro di 2-3 ore e possono essere analizzati *in loco*. Infatti, sono stati sviluppati database che possono essere scaricati su un computer portatile e quindi il sistema può operare anche in assenza di collegamento internet. Il costo dell'apparecchio (circa 1000 euro) è molto contenuto, sono invece più costosi i kit per l'analisi dei campioni e la sostituzione periodica della "flow cell", che contiene i nanopori. Per questo motivo, il MinION risulta sostenibile da servizi pubblici, quali i Servizi Fitosanitari, enti di ricerca, e imprese e aziende vivaistiche di grandi dimensioni. I miglioramenti attesi riguardano soprattutto i sistemi di estrazione dei campioni, che possono essere resi più semplici e rapidi, soprattutto per alcuni virus, la standardizzazione dei meto-



Fig. 1 *MinION* (Oxford Nanopore Technologies)

di per aumentare la riproducibilità e la diminuzione dei costi per i reagenti. Questo sistema può trovare applicazione in tutte le filiere.

BIBLIOGRAFIA

- BOYKIN L.M., SSERUWAGI P., ALICAI T., ATEKA E. ET AL (2019): *Tree Lab: Portable Genomics for Early Detection of plant Viruses and Pests in Sub-Saharan Africa*, «Genes», 10, 632, doi:10.3390/genes10090632.
- BRONZATO BADIAL A., SHERMAN D., STONE A., GOPAKUMAR A., WILSON V., SCHNEIDER W., KING J. (2018): *Nanopore Sequencing as a Surveillance Tool for Plant Pathogens in Plant and Insect Tissues*, «Plant Disease», 102, pp. 1648-1652.
- HU Y., GREEN G.S., MILGATE A.W., STONE E.A., RATHJEN J.P., SCHWESSIGER B. (2019): *Pathogen Detection and Microbiome Analysis of Infected Wheat Using a Portable DNA Sequencer*, «Phytobiomes Journal», 3, pp. 92-101.
- SHAFFER L. (2019): *Portable DNA sequencer helps farmers stymie devastating viruses*, «Proceedings of the National Academy of Sciences», USA, 116, pp. 3351-3353.

E. GONELLA¹, A. ALMA¹

La perturbazione delle simbiosi microbiche per la lotta simbioticida alla cimice asiatica *Halyomorpha halys*

¹Dipartimento di Scienze Agrarie, Forestali e alimentari (DISAFA), Università degli Studi di Torino

Lo studio delle interazioni che gli insetti hanno con i loro microrganismi simbiotici, iniziato nella seconda metà del secolo scorso, ha ampiamente evidenziato, soprattutto in anni recenti, l'importanza della varietà di ruoli svolti dai simbiotici nel determinare aspetti cruciali dello sviluppo, del comportamento e della capacità riproduttiva degli ospiti. La conoscenza e lo sfruttamento delle interazioni simbiotiche possono rappresentare un innovativo strumento di gestione, in quanto la loro alterazione può contribuire alla lotta a insetti dannosi e a patogeni trasmessi da insetti vettori, mediante la tecnica del Controllo Simbiotico (CS). Questo tipo di approccio si può applicare seguendo tre strategie: (i) la costituzione di associazioni eterologhe; (ii) la trasformazione genetica di simbiotici microbici; (iii) la perturbazione delle simbiosi microbiche (Arora e Douglas, 2017).

- i) La costituzione di associazioni eterologhe prevede l'introduzione di ceppi di simbiotici provenienti da un diverso ospite in una specie che in natura ne è priva. Il simbiote più comunemente utilizzato per questa strategia è il manipolatore riproduttivo *Wolbachia*, ad esempio tramite la tecnica dell'insetto incompatibile, che prevede il lancio di maschi infetti dal simbiote che, presentando un'incompatibilità riproduttiva con le popolazioni di campo, impediscono la produzione di prole nelle femmine con cui si accoppiano.
- ii) La modificazione genetica dei simbiotici microbici di un insetto per controllare il danno che questo causa è definita paratransgenesi. Il principale campo di applicazione di questa strategia riguarda la lotta a malattie dell'uomo i cui agenti sono trasmessi da insetti, come la malattia di Chagas.
- iii) La perturbazione delle simbiosi microbiche è indirizzata a eliminare quei simbiotici necessari all'ospite per lo sviluppo, la riproduzione e la sopravvivenza, detti simbiotici primari. Un processo cruciale per l'eliminazione dei

simbionti è la trasmissione verticale, che rappresenta una fase essenziale per il mantenimento dei simbionti primari. Bersaglio di questa strategia sono i simbionti caratterizzati da una localizzazione extracellulare, che sono trasmessi verticalmente tramite la produzione di secreti contenenti cellule dei simbionti, collocati in prossimità delle uova durante l’ovideposizione, oppure tramite la riacquisizione dei simbionti dall’ambiente da parte di ogni generazione. Queste modalità di trasmissione comportano la presenza di stadi giovanili privi di simbionti alla nascita, con la conseguente possibilità di una mancata acquisizione, che rappresenta l’obiettivo delle tecniche di controllo simbiotico basate su questo tipo di approccio.

Oltre alla diversità delle tecniche di CS applicabili, che consente di selezionare il metodo più appropriato in base alle caratteristiche del sistema insetto-microrganismi che rappresenta il bersaglio di lotta, un punto di forza di questa strategia è l’elevata compatibilità con gli altri mezzi di gestione (biologici, chimici, fisici), che rende possibile l’impiego in un’ottica di lotta integrata (Arora e Douglas, 2017). Un promettente esempio di CS è quello indirizzato alla lotta alla cimice asiatica, *Halyomorpha halys*. Questo insetto, originario dell’Asia orientale e accidentalmente introdotto negli Stati Uniti e in Europa, attacca più di 300 specie vegetali fra piante selvatiche e coltivate. La sua marcata polifagia, unita alla sua alta capacità di dispersione e al suo elevato successo riproduttivo, determinano il forte potenziale invasivo di questo pentatomide (Leskey e Nielsen, 2018). *H. halys* ospita il simbionte primario *Pantoea carbekii*, da cui dipende per la sopravvivenza, lo sviluppo e la fecondità. Questo batterio si localizza nell’intestino all’interno di cripte atte esclusivamente a contenere cellule del simbionte, che garantisce il rifornimento in molte sostanze nutritive (Taylor et al., 2014). La trasmissione verticale di *P. carbekii* avviene tramite “egg smearig”, ovvero tramite la contaminazione, durante l’ovideposizione, della superficie delle uova con secreti contenenti cellule batteriche. Le neanidi neonate di *H. halys* acquisiscono *P. carbekii* nutrendosi di tali secrezioni nei primi giorni di vita, durante i quali permangono sulla superficie delle ovature schiuse prima di allontanarsi alla ricerca di altre fonti alimentari (Taylor et al., 2014). La fase “ambientale” del ciclo biologico di *P. carbekii*, durante il periodo che intercorre fra la deposizione e la schiusa delle uova, è essenziale per il mantenimento dell’associazione, garantendo un passaggio transgenerazionale del batterio. Per questo motivo, *H. halys*, così come altri pentatomidi, rappresenta un modello ottimale per la realizzazione di strategie di CS basate sulla perturbazione di una simbiosi primaria. Tale ipotesi è supportata da evidenze sperimentali, che hanno dimostrato come insetti nati da ovature sterilizzate risultino privi

di *P. carbekii* e mostrino una riduzione della sopravvivenza e una forte alterazione di diversi parametri vitali (Taylor et al., 2014). Un approccio di CS contro *H. halys* è stato quindi proposto mediante l'impiego di sostanze ad attività antimicrobica al fine di eliminare *P. carbekii* dalla superficie delle ovature. Un recente studio condotto in condizioni di laboratorio ha dimostrato che l'applicazione sulle ovature di alcuni fertilizzanti integrati a base di micronutrienti è in grado di ridurre la sopravvivenza delle neanidi neonate a seguito della mancata acquisizione di *P. carbekii* (Gonella et al., 2019). Infatti, questi fertilizzanti, anche consentiti in agricoltura biologica, hanno un'attività antimicrobica dovuta alla loro composizione in microelementi, che produce un "effetto accessorio" sulle popolazioni di cimice asiatica legato all'eliminazione del simbiote. I risultati più efficaci nel ridurre le popolazioni di giovani di *H. halys* sono stati ottenuti con l'impiego di fertilizzanti integrati contenenti zinco, rame e acido citrico, che hanno provocato una mortalità delle neanidi superiore al 90% prima del raggiungimento della II età (Gonella et al., 2019). Lo studio ha inoltre dimostrato, mediante analisi molecolari, l'assenza di *P. carbekii* negli esemplari nati da ovature trattate, confermando l'interferenza con il processo di acquisizione del simbiote in seguito al trattamento. I risultati ottenuti suggeriscono che l'applicazione in campo di questi fertilizzanti integrati a base di micronutrienti, sulle ovature, consenta una significativa riduzione delle popolazioni di *H. halys*. Prove preliminari sono state condotte su nocciolo, una coltura particolarmente colpita dagli attacchi di *H. halys*. Le prove hanno confermato un'attività antisimbiotica a cui è seguita una significativa riduzione degli stadi giovanili della cimice rispetto alle parcelle trattate con formulati a base di deltametri-na e lambda cialotrina. La diminuzione della popolazione interna al corileto si riflette anche sul danno alla raccolta, che risulta più contenuto. Questi risultati devono essere validati da ulteriori prove che consentano di stabilire la persistenza del prodotto, il numero dei trattamenti, la tempistica e la dose, al fine di fornire indicazioni precise per la definizione di protocolli di lotta. Tuttavia indicano che l'applicazione di fertilizzanti integrati a base di microelementi appare uno strumento efficace per contenere le popolazioni di *H. halys*. Inoltre, è importante sottolineare che questi prodotti, non essendo insetticidi, non presentano alcuna interferenza con l'artropodofauna utile presente negli agroecosistemi oggetto di trattamento, pertanto sono altamente compatibili con l'attuazione della lotta biologica aumentativa, come dimostrato da prove preliminari di laboratorio condotte esponendo ovature trattate a femmine di parassitoidi oofagi indigeni che hanno efficacemente mostrato di parassitizzarle.

BIBLIOGRAFIA

- ARORA A.K., DOUGLAS A.E. (2017): *Hype or opportunity? Using microbial symbionts in novel strategies for insect pest control*, «Journal of Insect Physiology», 103, pp. 10-17.
- GONELLA E., ORRÙ B., ALMA A. (2019): *Egg masses treatment with micronutrient fertilizers has a suppressive effect on newly-emerged nymphs of the brown marmorated stink bug Halyomorpha halys*, «Entomologia Generalis», 39, pp. 231-238.
- LESKEY T.C., NIELSEN A.L. (2018): *Impact of the invasive brown marmorated stink bug in North America and Europe: history, biology, ecology, and management*, «Annual Review of Entomology», 63, pp. 599-618.
- TAYLOR C.M., COFFEY P.L., DELAY B.D., DIVELY G.P. (2014): *The importance of gut symbionts in the development of the brown marmorated stink bug, Halyomorpha halys (Stål)*, «PLOS ONE», 9, e90312.

S. BOTTI¹, M. CARDONI¹, M. PANCALDI¹, C. RATTI²

Diagnosi delle malattia delle piante mediante Digital Droplet Pcr

¹ CAV, Centro Attività Vivaistiche, Faenza (RA)

² DISTAL, Dipartimento di Scienze e Tecnologie Agro-Alimentari, Università di Bologna

LE RICHIESTE DEL MONDO VIVAISTICO

Nella moderna frutticoltura la fase di impianto rappresenta un momento di fondamentale importanza in quanto comporta scelte che influiranno per diversi anni sul rendimento quali-quantitativo degli investimenti effettuati e, quindi, sulla redditività dell'azienda. Le scelte tecniche strategiche all'impianto riguardano, senza dubbio, la qualità genetico-sanitaria delle piante messe a dimora. La produzione di materiale vivaistico di elevata qualità rappresenta quindi il primo e fondamentale anello del processo produttivo frutticolo, poiché è in grado di condizionarne fortemente la futura redditività. Tutta la filiera vivaistica deve quindi operare al fine di azzerare l'incidenza di fitopatologie nel materiale poi venduto agli agricoltori. I vivaisti si impegnano con importanti investimenti nelle proprie aziende, contestualmente richiedono ai Centri di Conservazione quali il CAV di fornire loro materiale di "categoria base" con elevate garanzie sanitarie. Quasi tutte le malattie sono oggi facilmente diagnosticabili utilizzando le tradizionali metodiche di diagnosi fitopatologica, tuttavia alcuni patogeni potrebbero sfuggire alla maglia dei controlli, vuoi perché settoriali, cioè non presenti in tutti i settori/organi della pianta, vuoi perché latenti, ovvero presenti a concentrazioni bassissime e non sempre rilevabili con le attuali tecniche di diagnostica. Ogni anno i Centri di Conservazione ricevono dai vivaisti stessi e dai costitutori nuove varietà da introdurre nel processo di certificazione, le cosiddette "piante madri candidate di pre-base". Le analizzano per verificarne lo stato sanitario e la rispondenza genetica secondo i protocolli previsti dai più recenti disciplinari di certificazione genetico-sanitaria, un processo che dura fino a 3-4 anni prima che venga emesso un responso sull'assenza di organismi nocivi agenti di malattie. Avere la certezza che queste

piante siano sane è fondamentale, perché da esse partiranno tutte le successive fasi di moltiplicazione. È da queste considerazioni che è nata la necessità di mettere a punto un sistema diagnostico innovativo in grado di garantire la sanità assoluta delle fonti candidate. La tecnica introdotta è la “Digital Droplet PCR (ddPCR)”, oggi usata in medicina umana per la diagnostica precoce di importanti virus, quali l’HIV, essendo capace di rilevare anche una sola copia del DNA/RNA virale nel campione testato. Nel nostro caso, la ddPCR rileva la presenza del patogeno (es. virus, viroide, fitoplasma, batterio o nematode) nella pianta anche quando presente a bassissima concentrazione; di fatto, la presenza di una sola copia del microorganismo nel campione testato è sufficiente per avere un esito positivo al test.

LA TECNICA DIGITAL DROPLET PCR

La “ddPCR” rappresenta un’evoluzione delle già note e consolidate tecniche PCR e “Realtime PCR”; da quest’ultima, infatti, riprende alcuni aspetti della chimica fluorescente. L’elemento di grande innovazione introdotto dal sistema “digital” va ricercato nella fase di emulsione della miscela di reazione. La miscela di reazione (reagenti per amplificazione a cui viene aggiunto il campione da testare sotto forma di estratto di DNA/RNA della pianta oggetto di saggio) viene infatti emulsionata all’interno di uno strumento chiamato DROPLET GENERATOR utilizzando speciali oli e speciali supporti plastici; le 20.000 goccioline ottenute contengono ciascuna tutti gli elementi per lo svolgimento di una reazione di amplificazione. La miscela di PCR emulsionata viene quindi introdotta in un tradizionale termociclatore per effettuare i cicli di amplificazione. Se il campione non è infetto dallo specifico patogeno, nessuna delle goccioline conterrà il DNA/RNA del patogeno ricercato e nessuna di esse emetterà fluorescenza; al contrario, se il campione è infetto dallo specifico patogeno, una parte o tutte le “droplets” (a seconda di quanto il campione è infetto) emetteranno fluorescenza. La quantificazione del numero esatto di goccioline fluorescenti viene effettuata mediante lettura al DROPLET READER che fornisce una quantificazione precisa del numero di copie del patogeno presenti nel campione vegetale di partenza. Statisticamente parlando, infatti, ciascuna droplet contiene al massimo una copia del genoma del patogeno, perciò il numero delle droplets fluorescenti quantificate dal droplet reader corrisponde al numero di particelle del patogeno presenti nel campione vegetale di partenza. Questa tecnica è stata recentemente introdotta nei laboratori del CAV che la sta utilizzando per la messa



Fig. 1 Fase di emulsione della miscela di reazione utilizzando il Droplet Generator



Fig. 2 Lettura della fluorescenza delle goccioline al Droplet Reader e visualizzazione dei risultati

a punto dei protocolli per la diagnosi delle principali malattie delle piante di interesse vivaistico. Al momento sono già stati messi a punto protocolli per la diagnosi del virus della Sharka (PPV), del viroide del Mosaico Latente del pesco (PLMVd), del fitoplasma delle drupacee (ESFYP) e del virus del Pinot Grigio (GPGV). CAV si propone di estendere questo tipo di tecnica all'indi-

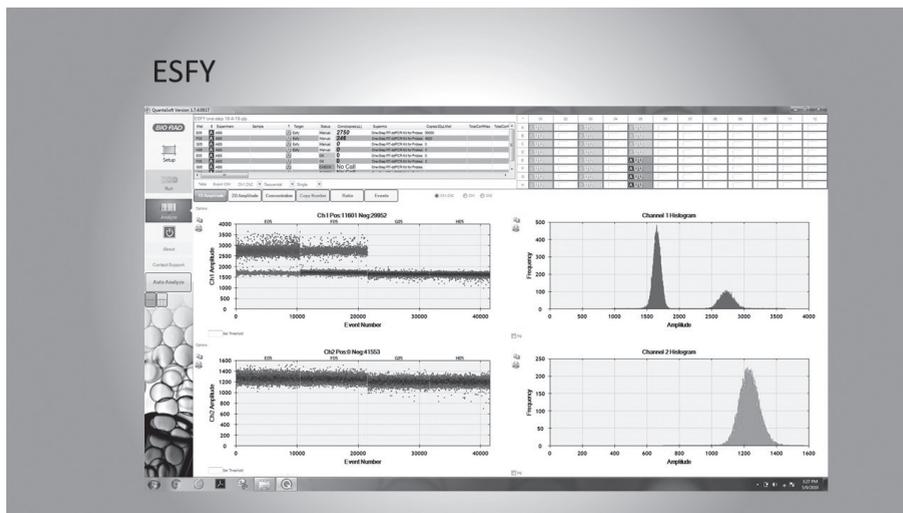


Fig. 3 Esempio di visualizzazione dei risultati, il caso di ESFY (*European Stone Fruit Yellowing Phytoplasma*)

viduazione di molte altre malattie. La precisione del dato di quantificazione in uscita e la possibilità di individuare infezioni virali anche in fase molto precoce (pochissime droplet positive) rende questa tecnica molto utile nell'analisi delle piante candidate ad entrare nel processo di certificazione vivaistica.

Nelle figure 1-3 è riportata una descrizione schematica del workflow di una reazione Digital Droplet PCR.

BIBLIOGRAFIA

- BOTTI S., CARDONI M., BISSANI R., PEZZI D., TURA E., ZISA R., CONTALDO C., NIGRO G., RATTI C., BABINI- A.R., PANCALDI M. (2019): *Più controlli fitopatologici e diagnostica innovativa nella filiera*, «Frutticoltura-Speciale Vivaismo e Miglioramento Genetico», 10, pp. 10-14.
- GAZZETTA UFFICIALE (2019): *Qualità Vivaistica Italia*, Decreto MIPAAFT del 19 marzo 2019 relativo al “Sistema nazionale volontario di qualificazione del materiale di propagazione vegetale”, 119, 23 maggio 2019.
- STRAIN M.C., LADA S.M., LUONG T., ROUGHT S.E., GIANELLA S., TERRY V.H., SPINA C.A., WOELK C.H. E RICHMAN D.D. (2013): *Highly precise measurement of HIV DNA by droplet digital PCR*, «PLoS ONE».
- VOGELSTEIN B. E KINZLER K.W. (1999): *Digital PCR*, «Proc. Natl. Acad. Sci.», USA, 96, pp. 9236-9241.

M. COLOMBO¹, S. MASIERO², S. VEZZULLI¹, P. PESARESI²

Sviluppo di fitofarmaci innovativi, a basso impatto ambientale e ridotta tossicità

¹ Centro Ricerca ed Innovazione, Fondazione Edmund Mach, S. Michele all'Adige (TN)

² Dipartimento di Bioscienze, Università degli Studi di Milano

L'utilizzo di prodotti fitosanitari in agricoltura è un tema sempre più sentito, sia da parte dei consumatori, preoccupati per gli effetti sulla propria salute e sull'ambiente, sia da parte degli agricoltori, sempre più attenti alla sostenibilità e alla salubrità dei prodotti. Se da una parte l'utilizzo di agrofarmaci consente al settore agricolo di mantenere livelli produttivi e qualitativi adeguati a soddisfare la domanda di una popolazione mondiale in continua crescita e sempre più urbanizzata, l'uso massiccio, e talvolta indiscriminato, che se ne è fatto negli ultimi decenni ha avuto serie conseguenze sull'ambiente e sulla salute umana e animale. Tra gli effetti negativi si annoverano l'inquinamento del suolo e delle acque, la tossicità residua su organismi non bersaglio con conseguenze a livello di specie e di ecosistema e lo sviluppo di resistenze. Numerosi effetti sono stati osservati anche sulla salute umana, ad esempio a livello dermatologico, gastrointestinale, neurologico, respiratorio, riproduttivo ed endocrino. La popolazione umana è inoltre sottoposta a una esposizione continua a dosi minime di agrofarmaci, attraverso l'ambiente e gli alimenti, le cui possibili conseguenze sono ancora sconosciute. La difesa fitosanitaria sta vivendo un periodo di profondi cambiamenti, soprattutto per effetto delle normative emanate dall'Unione Europea sull'uso sostenibile dei prodotti fitosanitari (Direttiva sull'uso sostenibile 2009/128/CE, Regolamento sulle autorizzazioni al commercio dei prodotti fitosanitari 1107/2009). Di conseguenza diversi principi attivi sono stati vietati negli ultimi anni a causa dei problemi ambientali associati al loro impiego, oppure sono divenuti inefficaci per l'insorgenza di resistenze negli organismi target. Lo sviluppo di nuovi principi attivi, più efficaci e sicuri, è perciò una strategia necessaria e urgente.

La viticoltura è uno dei primi settori agricoli in termini di utilizzo di fungicidi. Una delle malattie più gravi della vite a livello mondiale è la peronospora

(agente causale: *Plasmopara viticola*), che attacca tutti gli organi erbacei della pianta sin dalla primavera precoce e che, se non controllata, porta alla perdita totale della produzione. Per contenere la malattia si effettuano numerose e frequenti applicazioni di fungicidi, a base di rame (metallo pesante) o di principi attivi di sintesi. La ricerca di prodotti sostitutivi, alternativi ai fungicidi tradizionali, è perciò un settore di grande interesse. Negli ultimi anni stanno comparando sul mercato prodotti di biocontrollo della peronospora, basati sull'utilizzo di microrganismi antagonisti: tali prodotti coprono quote ancora modeste del mercato dei fitofarmaci e hanno costi ancora superiori a quelli dei prodotti classici, ma avendo un profilo ecotossicologico e ambientale decisamente migliore rappresentano una nuova fonte di principi attivi sostenibili verso i quali c'è un forte interesse da parte di viticoltori e consumatori.

Un approccio ancora più innovativo, consentito dallo sviluppo delle biotecnologie e della chimica verde, si indirizza verso una progettazione mirata del principio attivo desiderato. Fra le tecnologie disponibili una delle più promettenti è rappresentata dall'utilizzo di aptameri peptidici, peptidi di piccole dimensioni (8-20 aminoacidi) che hanno la capacità di riconoscere e di legarsi in maniera specifica e con elevata affinità ad una determinata proteina, inibendola. Gli aptameri peptidici possono quindi essere individuati e testati sulla base della loro affinità e specificità per proteine vitali per il patogeno. L'utilizzo di questa tecnologia consente perciò lo sviluppo di principi attivi che hanno un alto livello di specificità e ridotti rischi di insuccesso, dotati di una buona precisione nel colpire solo il bersaglio designato, e che minimizzano i possibili effetti indesiderati su organismi non target. Inoltre, permette di selezionare aptameri peptidici che interagiscono con domini fondamentali per il funzionamento della proteina bersaglio, quali domini catalitici fortemente conservati presenti nei patogeni delle piante, in maniera tale da ritardare l'insorgenza di fenomeni di resistenza.

Nell'ambito del progetto di ricerca "GrAptaResistance", finanziato dalla Fondazione CARIPLO, si è identificato un aptamero peptidico, chiamato NoPv1 (No *P. viticola* 1), in grado di inibire la crescita di *P. viticola* su vite e dotato di ottime proprietà di attività, specificità e tossicità. NoPv1 ha infatti dimostrato di essere altamente efficace a dosi molto basse, non essere citotossico per le cellule umane, non essere tossico per le foglie di vite ed essere innocuo su organismi non target, quali batteri del suolo (*Agrobacterium tumefaciens*, *Bacillus amyloliquefaciens*) ed *Erysiphe necator*, agente causale dell'oidio della vite. La tecnologia degli aptameri peptidici qui presentata è estremamente innovativa ed è in grado di garantire performance paragonabili ai fitofarmaci attualmente in commercio, anche se a costi di produzione per ora

più elevati. Presenta però indubbi vantaggi in termini di sostenibilità (basso rischio) e, come per gli agenti di biocontrollo, se ne può valutare l'utilizzo in sinergia con i fitofarmaci tradizionali, in alternanza a rame o ad agrofarmaci di sintesi durante la stagione vegetativa, oppure come prodotto unico nelle fasi prossime alla raccolta. Infine l'utilizzo di fitofarmaci a base di aptameri peptidici potrebbe essere consigliato in aree frequentate dalla popolazione o da gruppi vulnerabili, cioè vicino ad abitazioni e scuole, così come indicato nel Piano d'Azione Nazionale (PAN) per l'uso sostenibile dei prodotti fitosanitari.

BIBLIOGRAFIA

- ACERO F.J.F., CARBÚ M., EL-AKHAL M.R., GARRIDO C., GONZÁLEZ-RODRÍGUEZ V.E., CANTORAL J.M. (2011): *Development of proteomics-based fungicides: new strategies for environmentally friendly control of fungal plant diseases*, «Int. J. Mol. Sci.», 12, pp. 795-816.
- COLOMBO M., MIZZOTTI C., MASIERO S., KATER M.M. AND PESARESI P. (2015): *Peptide aptamers: The versatile role of specific protein function inhibitors in plant biotechnology*, «J. Integr. Plant Biol.», 57, pp. 892-901.
- PUIG M., MORAGREGA C., RUZ L., MONTESINOS E. AND LLORENTE I. (2015): *Controlling brown spot of pear by a synthetic antimicrobial peptide under field conditions*, «Plant Dis.», 99, pp. 1816-1822.
- HAO Z., GONG P., HE C. AND LIN J. (2018): *Peptide Aptamers to Inhibit Protein Function in Plants*, «Trends Plant Sci.», 23, pp. 281-284.

P. MELIS¹, B. MEZZETTI²

Robot UV per controllare l'oidio e la botrite in fragola

¹ Proefcentrum Hoogstraten, BE

² Dipartimento di Scienze Agrarie, Alimentari ed Ambientali, Università Politecnica delle Marche

Nell'ambito del progetto Horizon2020, denominato GOODBERRY (<https://goodberry-eu.eu/>), si è dimostrato che diversi mezzi fisici come trattamenti notturni con lampade UV e trattamenti con acqua e vapore sono buone alternative ai fungicidi per controllare l'infezione da oidio (*Podosphaera aphanis*) e *Botrytis cinerea* nella fragola.

L'oidio in particolare ha recettori e un sistema fotoregolatore che rileva, interpreta e reagisce alle diverse lunghezze d'onda della luce visibile e ultravioletta (UV). Infatti, la formazione di spore (conidi) è ridotta dalla luce rossa e aumentata dalla luce rossa lontana (far red). Luce UV, a lunghezza d'onda inferiore a 300 nanometri (nm) danneggia il DNA dell'agente patogeno e ne inibisce fortemente la germinazione delle spore e crescita del fungo. Inversamente, UV a lunghezza d'onda superiore a 350 nm e la luce blu (400- 500nm) sono in grado di riparare i danni al DNA del fungo causati dai raggi UV a bassa lunghezza d'onda. Sulla base di queste conoscenze si è dimostrato che trattamenti con raggi UV a 300 nm durante la notte sono in grado di danneggiare il fungo anche a dosi UV molto ridotte, eludendo la capacità di riparazione del DNA che si può avere con lunghezze d'onda più elevate, così da non danneggiare la pianta.

Risultati meno efficienti ma sempre significativi sono stati ottenuti anche per il controllo dell'infezione da *Botrytis cinerea* (fig. 1).

Da queste conoscenze sono state sviluppate unità mobili robotizzate o anche trainate da trattori con lampade UV facili da applicare in serra (fig. 2), capaci di controllare fino al 90% l'infezione dell'oidio, efficacia paragonabile ai migliori fungicidi disponibili. Altre sperimentazioni, hanno evidenziato che brevi periodi a intensità più elevate di UV è possibile controllare anche peronospora della fragola (*Podosphaera aphanis*) in modo quasi altrettanto efficace come i migliori trattamenti fungicidi.

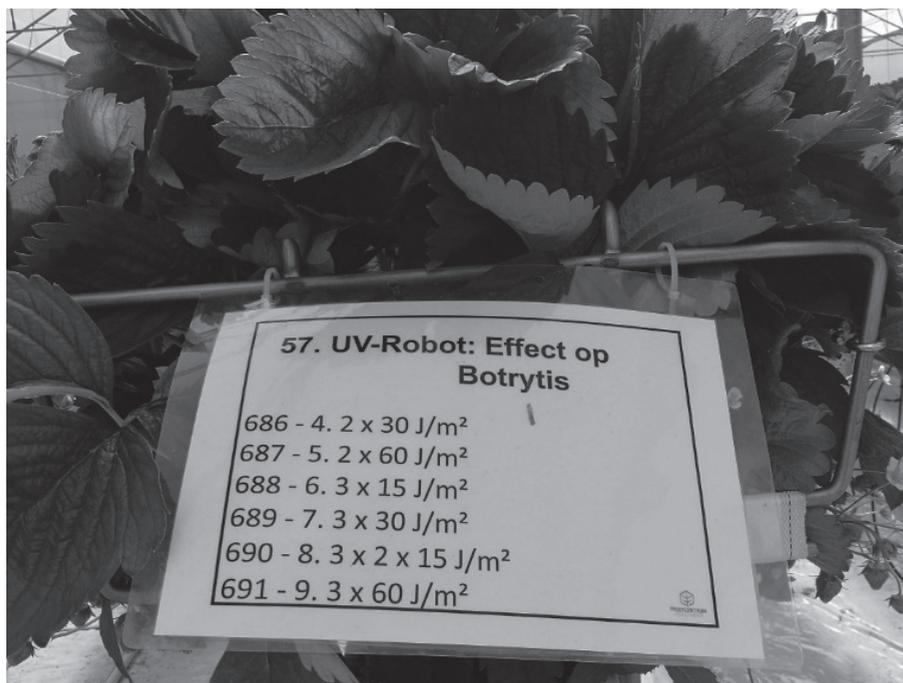


Fig. 1 Prove trattamenti UV in fragola fuori suolo per controllo botrite presso la stazione di ricerca di Hoogstraten (BE)

Questi robot UV sono già in diffusione commerciale in diversi paesi, prevalentemente USA, Belgio e Olanda. I modelli sviluppati in USA sono prevalentemente adattati a sistemi di coltivazione in pieno campo di tipo estensivo (fig. 3). Mentre quelli sviluppati in Europa sono adattati prevalentemente a sistemi di coltivazione fuori suolo in serra. La diffusione in Italia di questi Robot dipenderà dalla capacità di adattare gli attuali sistemi di coltivazione al facile accesso di questi robot che in modo autonomo sono in grado di programmare ed effettuare i trattamenti notturni necessari per controllare questi patogeni. L'interesse di studio sull'applicazione di questi robot potrebbe espandersi anche ad altre coltivazioni di particolare interesse per la nostra agricoltura come ad esempio la vite.

Più informazioni su altre pratiche applicative innovative sviluppate dal progetto GoodBerry sono disponibili a questo link: <https://goodberry-eu.eu/publications/applied-publications/>

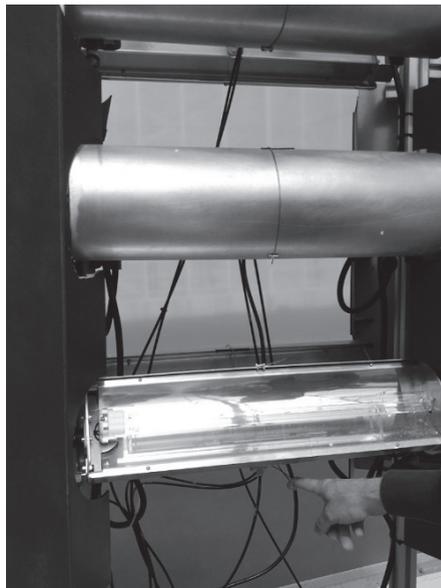


Fig. 2 Robot per trattamenti UV per controllo oidio e botrite in colture di fragole fuori suolo in serra. Particolare delle lampade UV



Fig. 3 Sistema trainato e robot per trattamenti UV per controllo oidio e botrite in colture di fragole in pieno campo. Particolare delle lampade UV

G. FIRRAO¹

Predizione delle contaminazioni da micotossine mediante analisi di immagine

¹ Dipartimento di Scienze Agro-Alimentari, Ambientali e Animali, Università di Udine

I recenti sviluppi applicativi dell'analisi dell'immagine in agricoltura e, specificamente, nel settore della protezione dei prodotti vegetali dalle avversità dipendono dagli straordinari e rapidissimi progressi dei sistemi hardware e software che ne sono alla base. L'enorme diffusione dei telefoni cellulari, ormai invariabilmente equipaggiati con almeno una telecamera, ha fatto sì che elementi sensibili ad altissima sensibilità e definizione, solo pochi anni fa appannaggio di costose attrezzature specialistiche, siano diventati facilmente accessibili a basso costo. La considerevole massa di dati da essi generati può oggi essere trasferita per l'elaborazione remota con grande facilità e rapidità grazie allo sviluppo delle tecnologie e delle infrastrutture di trasmissione dati ormai diffuse capillarmente sul territorio. Infine, l'aumentata capacità di elaborazione e l'interesse multisetoriale verso il riconoscimento automatizzato degli oggetti e l'intelligenza artificiale ("machine learning") hanno creato una disponibilità di moduli software che semplificano notevolmente lo sviluppo di applicazioni dedicate.

In questa "Antologia" è presente un articolo di Salvatore Filippo Di Genaro e Alessandro Matese, intitolato *Applicazioni di viticoltura di precisione da piattaforma UAV* (URL: <<http://www.georgofili.it/Media?c=98ff1317-84a9-4f6b-8803-da29a85bbe59>>) che tratta dell'applicazione specifica in viticoltura di una tecnologia di analisi di immagine per il monitoraggio remoto ("remote sensing"), una delle principali branche in cui l'analisi dell'immagine si è articolata. A tale articolo rimandiamo per una disanima dei principi fondanti e per i benefici del remote sensing, e ne prendiamo spunto per introdurre il parallelo approccio detto "proximal sensing", che è sostanzialmente una declinazione della stessa idea in una scala dimensionale diversa per pervenire all'estrazione di informazioni preziose per la gestione della coltura o del prodotto:

se da una parte il remote sensing prevede l'utilizzo di telecamere installate su droni che restituiscono immagini di superfici di alcuni metri quadrati, dall'altra il proximal sensing consiste nell'utilizzo a terra, in postazioni fisse, di simili telecamere che producono immagini di pochi centimetri lato e quindi con una elevata definizione del dettaglio degli elementi discreti che vengono fatti passare sotto di esse.

Che si tratti di "remote" o di "proximal" sensing, la potenza della tecnologia nelle applicazioni collegate alla difesa delle colture dalle avversità è data dalla capacità di una accurata registrazione del "colore", ossia, più tecnicamente, dei valori di assorbanza o di riflettanza in definite regioni dello spettro. Nella dinamica degli eventi avversi alle piante, e in modo particolare durante i processi patologici, vengono iniziati dai patogeni o dall'ospite stesso processi metabolici che producono nell'area interessata significativi cambiamenti fisiologici, con la conseguente modifica nella concentrazione dei metaboliti presenti e dunque delle proprietà ottiche del tessuto interessato.

I diversi metaboliti prodotti dall'ospite o dal patogeno, infatti, possono avere picchi di assorbimento tipici e caratteristici, cui corrisponde un utile valore diagnostico. Un'alterazione fisiologica può dunque essere fortemente correlata con l'assorbimento in una o più frequenze dello spettro visibile o, molto frequentemente, infrarosso. Nelle tipiche implementazioni delle tecniche di analisi d'immagine con finalità semi quantitative, quali ad esempio la determinazione del contenuto in specifiche micotossine, le immagini raccolte sono multi- o iper- spettrali. Ogni fotogramma raccolto è cioè una collezione di immagini costruite sui valori di assorbimento o riflettanza risultanti ad alcune specifiche lunghezze d'onda (multispettro) o addirittura in tutte le lunghezze d'onda in un certo ambito (potenzialmente tra 350 nm e 2500 nm) con una risoluzione spettrale finanche di 1 nm (iperspettro) (Mahlein *et al.*, 2018). Si tratta sostanzialmente di un'analisi spettroscopica condotta su ogni singolo elemento dell'immagine (pixel). La diagnostica con immagini multi- o iper-spettrali ha dunque enormi potenzialità perché ogni evento ha una sua dinamica spazio-temporale che si associa precocemente a specifiche alterazioni delle proprietà ottiche, visibili ad occhio nudo solo in seguito, oppure mai, come nel caso delle infezioni di *Fusarium verticillioides* nel mais.

Non sorprende quindi che le applicazioni delle tecniche di analisi di immagini multi- o iper- spettrali in proximal sensing stiano interessando sempre più colture e in primo luogo leguminose e cereali. Metodi di analisi di immagini iperspettrali per la valutazione di infestazioni di insetti e di funghi sono disponibili per cece, lenticchia, pisello, fagiolo, soia (Karrupiah *et al.*, 2016 e articoli ivi citati). Ma certamente la predizione della contaminazione delle

micotossine nei cereali è il settore che ha visto l'impegno più significativo della ricerca: la numerosità dei contributi scientifico-tecnologici (si veda Xing et al., 2020, per una rassegna recente) testimonia la rilevanza della sfida, oltre naturalmente la diversità delle micotossine prodotte dai funghi dei generi *Aspergillus*, *Penicillium* e *Fusarium* e dei diversi substrati da essi colonizzabili. In generale, la relazione tra le proprietà ottiche del substrato e la presenza di un particolare metabolita contaminante non è risultata facile da stabilire e, frequentemente, si è intrapresa la strada più praticabile della relazione con la presenza e l'intensità della colonizzazione fungina, assumendo indirettamente, con le ovvie precauzioni del caso, la presenza dei metaboliti da essi prodotti. Tra i cereali soprattutto il mais è stato oggetto di indagine, anche in Italia (Firrao et al., 2010; Del Fiore et al., 2010; fig.1).

Le tecniche ottiche per la determinazione semiquantitativa del contenuto di contaminanti presentano interessantissimi vantaggi che permettono di prevederne un sempre più largo impiego nel settore agroalimentare. Si tratta, infatti, di tecniche che, a fronte di una capacità di determinazione del reale contenuto del contaminante, ancora relativamente poco accurata, per cui è più corretto parlare di predizione piuttosto che di determinazione, offrono le opportunità del bassissimo costo per campione, della non distruttività del campione analizzato, della elevata velocità di processamento e della spiccata automazione. Rappresentano, pertanto, le tecnologie di elezione per la selezione ottica ("optical sorting"), la cui introduzione rappresenta anche concettualmente una sostanziale evoluzione della tecnica diagnostica per il miglioramento della qualità dei prodotti agricoli sotto il profilo igienico-sanitario, quasi una linea di demarcazione per la funzione della diagnostica per la presenza dei contaminanti. La metodologia tradizionale prevedeva il ruolo sostanzialmente passivo dell'analisi chimica, che determina la contaminazione e quindi, eventualmente, il destino commerciale della partita. La cernita ottica, con l'allontanamento delle sole componenti contaminate, produce un effettivo miglioramento qualitativo della partita trattata. L'industria ha maturato la consapevolezza di questi così sensibili vantaggi e sta cogliendo l'occasione dell'accessibilità della tecnologia per tradurla in un concreto progresso in fase produttiva: selezionatrici ottiche per i cereali, capaci di individuare, classificare in base alle proprietà ottiche ed eventualmente eliminare singole cariossidi di mais lavorando ad una velocità di più di 10 tonnellate per ora, sono oggi già una realtà commerciale.

Mentre per i cereali e leguminose la tecnologia è matura al punto da essere parte di applicazioni industriali, la ricerca espande i propri orizzonti verso altre colture (vite, pomodoro, e molto altro, come esaurientemente riporta-

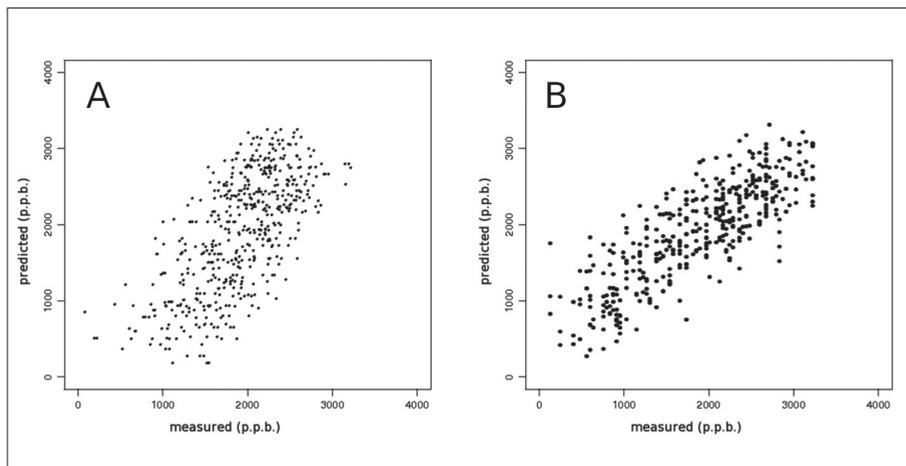


Fig. 1 L'analisi multi- e iper- spettrale permette di formulare previsioni sulla presenza di contaminanti in matrici complesse sfruttando metodi statistici diversi: nell'esempio qui riportato la quantità di fumonisina B1 in mais è predetta tramite correlazione lineare (A) o rete neurale (B)

to nella rassegna di Salem et al., 2019) dove il riconoscimento morfologico dell'oggetto da classificare complementa l'analisi delle caratteristiche ottiche in un contesto tecnologico ancor più sofisticato e preciso.

BIBLIOGRAFIA CITATA

DEL FIORE A., REVERBERI M., RICELLI A., PINZARI F., SERRANTI S., FABBRI A.A., BONIFAZI G., FANELLI C. (2010): *Early detection of toxigenic fungi on maize by hyperspectral imaging analysis*, «International Journal of Food Microbiology», 144, 64e71.

FIRRAO G., TORELLI E., GOBBI E., RARANCIUC S., BIANCHI G., LOCCI R. (2010): *Prediction of milled maize fumonisin contamination by multispectral image analysis*, «Journal of Cereal Science», 52, pp. 327-330.

KARUPPIAH K., SENTHILKUMAR T., JAYAS D.S., WHITE N.D.G. (2016): *Detection of fungal infection in five different pulses using near-infrared hyperspectral imaging*, «Journal of Stored Products Research», 65, pp. 13-18.

MAHLEIN A.K., KUSKA M.T., BEHMANN J., POLDER G., WALTER A. (2018): *Hyperspectral sensors and imaging technologies in phytopathology: State of the art*, «Annual Review of Phytopathology», 56, pp. 535-558.

QI X., JIANG J., CUI X., YUAN D. (2020): *Moldy peanut kernel identification using wavelet spectral features extracted from hyperspectral images*, «Food Analytical Methods», 13, pp. 445-456.

SALEEM M.H., POTGIETER J., ARIF K.M. (2019): *Plant disease detection and classification by deep learning*, «Plants», 8, 468.

XING F., YAO H., LIU Y., DAI X., BROWN R.L., BHATNAGAR D. (2019): *Recent developments and applications of hyperspectral imaging for rapid detection of mycotoxins and mycotoxigenic fungi in food products*, «Critical Reviews in Food Science and Nutrition», 59, pp. 173-180.

M. TROGGIO¹, L. BIANCO¹, R. VELASCO²

SNP array: genotipizzazione ad alta resa per il breeding assistito nelle specie arboree da frutto

¹ Fondazione Edmund Mach, San Michele all'Adige

² Centro di Ricerca in Viticoltura ed Enologia CREA, Conegliano, TV

La pubblicazione della sequenza di riferimento per diversi genomi di piante da frutto rappresenta il punto di partenza per lo studio della variabilità tra gli individui all'interno di una specie. Grazie alle tecnologie di sequenziamento di nuova generazione (NGS) è possibile ora risequenziare qualsiasi nuovo individuo a costi molto bassi, allineare la sua sequenza con quella di riferimento e identificare così varianti nucleotidiche e strutturali utili alla comprensione della diversità genetica per i caratteri oggetto di studio o di selezione. Questo permette di accedere alla variabilità genetica esistente in natura e sviluppare strumenti di screening veloci, riproducibili e relativamente economici per la caratterizzazione genetica di centinaia di individui e popolazioni della stessa specie. In passato, la caratterizzazione genetica delle diverse accessioni/cultivar di una specie avveniva prevalentemente con l'utilizzo dei marcatori genetici microsatelliti (dei motivi di piccole sequenze di DNA ripetute - short tandem repeats), molto informativi in quanto multiallelici, ma difficili da ottimizzare e utilizzare su larga scala. Per le specie arboree da frutto negli ultimi anni sono stati sviluppati diversi saggi per la genotipizzazione "genome wide" di polimorfismi di singolo nucleotide (Single Nucleotide Polymorphism, SNP) che sfruttano la tecnologia dei microarray di DNA (BeadArray Illumina e microarray Affymetrix) che possono contenere da poche migliaia fino a oltre mezzo milione di marcatori polimorfici (Laurens et al. 2018; Marrano et al., 2018; Montanari et al., 2019; Vanderzande et al., 2020). Tali SNP array disponibili pubblicamente sono diventati il riferimento internazionale nei programmi di miglioramento genetico assistito per studi genetici di pedigree (Laucou et al., 2018; Muranty et al., 2020) e associazione (Iwata et al., 2016; Laurens et al., 2018) e per nuove applicazioni come la genomic selection, ovvero la selezione delle piante migliori basata sulla misura del loro potenziale genetico (Kumar

et al., 2012; Minamikawa et al., 2018). Rispetto al passato, queste informazioni possono infatti conferire un grado di precisione maggiore al miglioramento genetico e consentire inoltre di selezionare individui di qualità superiore, incrementando così la probabilità di ottenere varietà innovative per una agricoltura moderna e sostenibile (Iwata et al., 2016; Rasheed et al., 2017). La disponibilità di un patrimonio genetico vario ed eterogeneo e l'associazione di geni con caratteristiche morfologiche sono elementi fondamentali per soddisfare le esigenze dei programmi di breeding attuali e futuri.

La caratterizzazione della diversità genetica di vaste collezioni di germoplasma di una specie può inoltre permettere di identificare relazioni di parentela finora sconosciute e varietà "chiave" fondatrici dei diversi pedigree (Howard et al., 2017; Crespan et al., 2020). Nell'ambito del progetto Europeo Fruitbreedomics (Laurens et al., 2018) sono state caratterizzate diverse collezioni di melo con SNP array ad alta densità (Illumina Infinium®apple20K e Affymetrix Axiom®Apple480K; Bianco et al., 2014, 2016) e questo ha permesso di verificare l'identità genetica delle diverse accessioni e di svelare diverse relazioni di parentela anche di antiche origini (Muranty et al., 2020).

Vari strumenti informatici sono stati sviluppati sia per facilitare l'analisi dei dati provenienti da SNP array (ASSIsT, Di Guardo et al., 2015) che per integrare l'informazione in blocchi aplo-tipici (PediHaplotyper, Voorrips et al., 2016) e per tracciare il flusso dell'informazione genetica in pedigree noti o esplorare relazioni non note (HaMoVi - unpublished).

Il risequenziamento di specie selvatiche e il loro utilizzo per lo sviluppo di SNP array può infine permettere una riscoperta della variabilità genetica presente nel germoplasma selvatico, il che costituisce un primo passo verso l'introggressione di tratti interessanti come le resistenze a patogeni nei programmi di breeding (Montanari et al., 2019).

BIBLIOGRAFIA

- BIANCO L., CESTARO A., SARGENT D.J. ET AL. (2014): *Development and validation of a 20K SNP whole genome genotyping array for apple (Malus × domestica Borkh)*, «PLoS ONE», 9, e110377
- BIANCO L., CESTARO A., LINSMITH G. ET AL. (2016): *Development and validation of the Axiom®Apple480K SNP genotyping array*, «Plant Journal», 86 (1), pp. 62-74.
- CRESPLAN M., MIGLIARO D., LARGER S. ET AL (2020): *Unraveling the genetic origin of 'Glera', 'Ribolla Gialla' and other autochthonous grapevine varieties from Friuli Venezia Giulia (northeastern Italy)*, «Scientific Reports», 10, 7206.
- DI GUARDO M., MICHELETTI D., BIANCO L. ET AL. (2015): *ASSIsT: An Automatic SNP Scoring Tool for in- and outbreeding species*, «Bioinformatics», 31 (23), pp. 3873-4.
- HOWARD N., VAN DE WEG E., BEDFORD D. ET AL. (2017): *Elucidation of the Honey-*

- crisp*' pedigree through haplotype analysis with a multi-family integrated SNP linkage map and a large apple (*Malus domestica*) pedigree-connected SNP data set, «Horticulture Research», 4, 17003.
- IWATA H., MINAMIKAWA M.F., KAJIYA-KANEGAE H. ET AL. (2016): *Genomics-assisted breeding in fruit trees*, «Breeding Science», 66, pp. 100.115.
- KUMAR S., CHAGNÉ D., BINK M.C. ET AL. (2012): *Genomic selection for fruit quality traits in apple (*Malus domestica* Borkh.)*, «PLOS ONE», 7 (5), e36674.
- LAUCOU V., LAUNAY A., BACILIERI R. ET AL. (2018): *Extended diversity analysis of cultivated grapevine *Vitis vinifera* with 10K genome-wide SNPs*, «PLOS ONE», 13 (2), e0192540.
- LAURENS F., ARANZANA M.J., ARUS P. ET AL. (2018). *An integrated approach for increasing breeding efficiency in apple and peach in Europe*, «Horticultural Research», 5, 11.
- MARRANO A., MARTINEZ-GARCIA PEDRO J., BIANCO B. ET AL. (2018): *A new genomic tool for walnut (*Juglans regia* L.): development and validation of the high-density Axiom™ J. regia 700K SNP genotyping array*, «Plant Biotechnology Journal», 17 (6), pp. 1027-1036.
- MINAMIKAWA M.F., TAKADA N., TERAKAMI S. ET AL. (2018): *Genome-wide association study and genomic prediction using parental and breeding populations of Japanese pear (*Pyrus pyrifolia* Nakai)*, «Scientific Reports», 8, 11994.
- MONTANARI S., BIANCO L., ALLEN B.J. ET AL. (2019): *Development of a highly efficient Axiom™ 70K SNP Array for Pyrus and evaluation for high-density mapping and germplasm characterization*, «BMC Genomics», 20 (1), 331.
- MURANTY E., DENANCÉ C., FEUGEY L. ET AL. (2020): *Using whole-genome SNP data to reconstruct a large multi-generation pedigree in apple germplasm*, «BMC Plant Biology», 20, 2.
- RASHEED A., HAO Y., XIA X. ET AL. (2017): *Crop Breeding Chips and Genotyping Platforms: Progress, Challenges, and Perspectives*, «Molecular Plant», 10, pp. 1047-1064.
- VANDERZANDE S., ZHENG P., CAI L. ET AL. (2020): *The cherry 6+9K SNP array: a cost-effective improvement to the cherry 6K SNP array for genetic studies*, «Scientific Reports», 10, 7613.
- VOORRIPS R.E., BINK M.C.A.M., KRUISSELBRINK J.W. ET AL. (2016): *PediHaplotyper: software for consistent assignment of marker haplotypes in pedigrees*, «Molecular Breeding», 36, 119.

Enologia

V. GERBI¹

Enologia: produrre vini a basso tenore di solfiti

¹ DISAFA, Università degli Studi di Torino

L'enologia è una pratica millenaria, ma si può affermare che la scienza enologica iniziò con le scoperte di Pasteur che dimostrò il ruolo dei lieviti, affondando definitivamente la teoria della generazione spontanea, proprio pubblicando il suo primo libro dedicato agli “studi sul vino” (1866). Da allora i progressi sono stati continui e dedicati a comprendere la natura dei fenomeni chimici e biologici della vinificazione, dell'affinamento e dell'invecchiamento dei vini. Le alterazioni che compromettevano la qualità e la conservabilità del vino, sono ormai rare, soprattutto per il miglioramento delle condizioni igieniche delle cantine e per il ricorso generalizzato ad un antisettico, il biossido di zolfo (o l'anidride solforosa), rimasto per oltre un secolo l'unico e indiscusso additivo per il vino.

Da alcuni anni però si avverte la necessità di limitare o eliminare il ricorso ai solfiti per aumentare l'immagine di naturalità del vino; ciò ha costituito uno stimolo all'innovazione e alla ricerca di sostanze naturali o di sintesi a basso impatto ambientale e senza rischi per la salute da usare come antisettici e antiossidanti per la conservazione del vino. In effetti i due maggiori elementi di rischio sono i microrganismi agenti di alterazione, che possono causare intorbidamenti, rifermentazioni, odori anomali e l'ossigeno che, se presente in misura eccessiva, può causare un precoce decadimento del colore e dell'aroma dei vini.

La direttiva europea sugli allergeni (2003/89/CE), ha introdotto l'obbligo di inserire in etichetta la dicitura “*contiene solfiti*” se il contenuto è superiore a 10 mg/l. In effetti le reazioni allergiche in individui sensibili sono quelle che destano le maggiori preoccupazioni, dato che gli effetti in altri soggetti, dovuti a una eventuale carenza enzimatica a livello epatico o alle alterazioni del metabolismo della vitamina B1, possono causare sintomi acuti, come il mal

di testa, ma non rischi gravi e permanenti. In ogni caso l'OMS ha da anni fissato il limite di sicurezza di assunzione giornaliera dei solfiti in 0,7 mg/Kg di peso corporeo. Tenendo conto di questo valore, in un individuo di 60-80 kg di peso corporeo, la dose giornaliera ammissibile risulta compresa tra 42 e 56 mg al giorno, valori che verrebbero facilmente superati da chi bevesse anche soltanto mezzo litro di vino contenente solfiti al livello massimo fissato per legge: 160mg/l di SO₂ totale per i vini rossi, 200 mg/l per i vini bianchi. Da questo derivano gli sforzi compiuti per limitarne la presenza nei vini, anche se raggiungere e dichiarare la totale assenza risulta ancora molto difficile, stante che i lieviti nel corso della fermentazione alcolica producono solfiti naturalmente, spesso in misura superiore ai 10 mg/l. È quindi plausibile una dichiarazione di assenza di solfiti aggiunti, ma è raro poterne affermare l'assenza completa.

Molte esperienze sono state condotte per trovare sostituti più naturali al ruolo antisettico del biossido di zolfo (ad esempio acido sorbico, tannini di legno e di uva, lisozima, chitosano, ozono) e al ruolo antiossidante (acido ascorbico, tannini di galla), con risultati più o meno efficaci. Ad oggi la migliore innovazione possibile è quella di usare razionalmente i solfiti, mantenendo gli indubbi vantaggi stabilizzanti a fronte di dosi il più possibile ridotte.

Realmente innovative quindi le tecnologie che possono consentire una riduzione del ricorso ai solfiti nel processo di vinificazione, riservando loro un ruolo antisettico e antiossidante solo per il vino all'imbottigliamento, dove possono garantire, anche a dosi molto basse, un allungamento della *shelf life* del prodotto. Si possono ricordare a questo proposito l'uso di gas inerti, la forma ed i materiali dei recipienti vinificazione, l'uso di colture starter (sia di lieviti e batteri selezionati, che spontanei), ma nel futuro saranno determinanti per una buona conduzione del processo le tecniche rapide ed economiche di monitoraggio dei processi di fermentazione e macerazione.

RAZIONALIZZARE L'IMPIEGO DELLA SO₂

Ancora oggi capita di incontrare vinificatori che fanno ricorso a questo additivo in modo rituale, applicando un protocollo di vinificazione tradizionale in cui il ruolo della "solforosa", aggiunta come soluzione liquida o sotto forma di sali solubili (metabisolfito di potassio, solfito di ammonio), è quello di prevenire le alterazioni, ma è impiegata a dosi non commisurate alle caratteristiche dell'uva e del mosto, bensì fisse, come applicando una ricetta, configurando quasi un ruolo scaramantico al gesto dell'aggiunta.

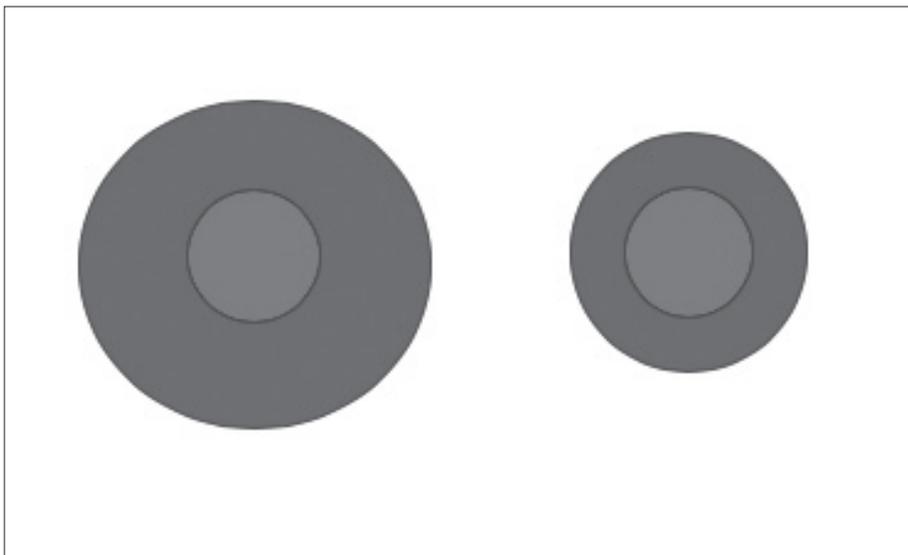


Fig. 1 *Rappresentazione visiva della riduzione ottenibile dei solfiti totali, a parità di frazione libera (in grigio chiaro), evitando le aggiunte prima o durante i processi di fermentazione*

Un fondamentale contributo alla razionalizzazione dell'impiego della SO_2 (biossido di zolfo, spesso indicato come "solforosa") è venuto dagli studi di Usseglio-Tomasset e dai ricercatori dell'Istituto Sperimentale per l'Enologia di Asti che, nei primi anni Ottanta, hanno approfondito lo studio dell'equilibrio di dissociazione della "solforosa", chiarendo l'influenza del grado alcolico, quantificando la capacità di combinarsi con gli antociani, confermando la capacità dell'acetaldeide di combinarla permanentemente, creando un composto di addizione inutile sia ai fini antisettici che antiossidanti. In particolare, sperimentando gli effetti dell'aggiunta progressiva di SO_2 al mosto, sono state gettate le basi per la più importante delle possibilità di contenimento del livello di "solforosa" nei vini: non aggiungerla a fermentazione avviata, ma prima, quando i lieviti non sono ancora in fase fermentativa, oppure al termine a scopo stabilizzante.

Per tenere basso il livello di "solforosa" totale occorre limitare al massimo la parte combinata e avere condizioni di pH che permettano la presenza di "solforosa" in stato molecolare. Poiché la sostanza che mostra la maggiore capacità di combinazione è l'acetaldeide, appare dunque evidente che è possibile limitare notevolmente il contenuto finale di solfiti nei vini se si riduce la percentuale di SO_2 zavorra che a essa si combina. Tutti gli autori sono concordi nell'indicare la massima concentrazione di acetaldeide all'inizio

della fermentazione alcolica. Il SO_2 presente in quella fase sarà totalmente combinato e perduto ai fini della protezione del futuro vino. Pertanto una forte limitazione di SO_2 totale nei vini, a parità di dose libera efficace (fig. 1), si è ottenuta operando le aggiunte solo in assenza di fermentazione, quindi preventivamente sul mosto, o dopo i fenomeni fermentativi o all'imbottigliamento.

È stato dimostrato che operando con estrema cura, sin dalla raccolta dell'uva e durante i processi fermentativi (avviamento con mosti di avviamento di lieviti indigeni o selezionati), le colmature delle botti, la protezione dall'ossigeno e l'igiene in cantina si può anche vinificare senza l'aggiunta della "solforosa", giungendo al termine della fase di produzione con livelli di SO_2 estremamente bassi (solo quelli naturali prodotti dai lieviti). Se la conservazione è molto lunga, come nei vini da invecchiamento, risulta molto difficile rinunciare ai solfiti senza provocare un più rapido decadimento delle caratteristiche del vino. Tuttavia la parte più lunga e non sempre controllata della conservazione avviene dopo l'imbottigliamento.

SO_2 E IL VINO IN BOTTIGLIA

Rinunciare alla "solforosa" all'imbottigliamento è molto più difficile. A questo antico additivo si chiede essenzialmente di svolgere una azione antisettica, per la prevenzione dalle rifermentazioni e delle alterazioni batteriche, e una azione antiossidante nei confronti dell'ossigeno presente in bottiglia, che prolunghi la *shelf life* del vino per il tempo necessario alla sua commercializzazione o all'invecchiamento.

La prima funzione può essere vicariata da tecniche di stabilizzazione microbica preventiva (microfiltrazione, pastorizzazione), seguita da riempimento asettico in impianti perfettamente sanitizzati e protetti dall'inquinamento, tutte tecniche ormai conosciute e diffuse, anche se non sempre adattabili alle piccole produzioni o non indispensabili per i vini da lungo invecchiamento.

Nel caso dell'azione antiossidante il problema è più complesso e, allo stato attuale, esistono meno alternative, soprattutto nel caso di certi vini bianchi o rossi più giovani che giocano sul fruttato e sulla freschezza del ricordo fermentativo la loro principale caratteristica, modello difficilmente difendibile in assenza di un antiossidante come la "solforosa". L'imbottigliamento con pre-evacuazione e compensazione con azoto per eliminare l'ossigeno in bottiglia, l'eliminazione dell'ossigeno nello spazio che alloggerà il tappo, sono operazioni che possono ridurre al minimo l'apporto di ossigeno. Anche l'ado-

zione di chiusure alternative, come le capsule a vite, può impedire l'ingresso di ossigeno in bottiglia, sempreché lo spazio di testa sia privo di ossigeno. Ma l'ossidazione in bottiglia non è esclusivamente legata alla presenza di ossigeno, ma è anche dovuta all'azione di coppie ossido-riducenti di componenti naturali del vino, come tracce di metalli e sostanze polifenoliche. La presenza della "solforosa", soprattutto se aggiunta nella fase di imbottigliamento, consente di abbassare il potenziale redox a livelli per cui i fenomeni ossido-riduttivi sono ritardati. Il ricorso all'acido ascorbico, antiossidante naturale innocuo e consentito, permette una forte riduzione delle dosi di SO_2 , ma non un annullamento totale a causa della formazione di perossido di idrogeno, forte ossidante, che si forma dalla sua ossidazione.

Sono in fase di studio parecchie sostanze naturali, spesso ricavabili dai sottoprodotti enologici o della filiera agroalimentare, soprattutto acidi fenolici e tannini, che potrebbero essere una reale alternativa alla "solforosa", soprattutto in chiave antiossidante. Ad esempio al glutatione, tripeptide naturale presente nell'uva, ormai in fase finale di autorizzazione da parte della UE, sono rivolte le attenzioni dei ricercatori per le sue notevoli capacità antiossidanti.

Forse siamo a un passo dalla risoluzione del problema, anche se una volta trovati eventuali sostituti bisognerà attendere la validazione e le necessarie autorizzazioni, ma per ora è realistico proporre, per aumentare la naturalità del vino senza comprometterne la qualità percepibile, una riduzione drastica del contenuto in solfiti, ottenibile facilmente aumentando l'attenzione alla qualità dell'uva e adottando un processo di vinificazione razionale e basato su una profonda conoscenza teorica e pratica del processo. Si conferma ancora una volta che per fare prodotti più naturali, ma buoni e sicuri, ci vuole più conoscenza, non empirismo e approssimazione.

BIBLIOGRAFIA ESSENZIALE

- BLOUIN J. (1966): *Contribution à l'étude des combinaisons de l'anhydride sulfureux dans les moûts et les vins*, «Ann. Technol. Agri.», 15, pp. 223-287, 359-401.
- DELFINI C., CASTINO M., CIOLFI G. (1980): *L'aggiunta di tiamina ai mosti per ridurre i chetoacidi ed accrescere l'efficacia dell' SO_2 nei vini*, «Riv. Vitic. Enol.», 33, pp. 572-589.
- GERBI V., ROLLE L., GIACOSA S., CAUDANA A. (2016): *L'innovazione nel processo di vinificazione*, in *L'evoluzione dell'industria alimentare*, a cura di S. Porretta, pp. 49-82, Chiriotti (Pinerolo).
- GIACOSA S., RÍO SEGADE S., CAGNASSO E., CAUDANA A., ROLLE L., GERBI V. (2019): *SO_2 in wine: rational use and possible alternatives*, in *Red Wine Technology*, a cura di A. Morata, Academic Press, London, pp. 3029-321.

- SUDRAUD P., CHAUVET S. (1985): *Activité antilevure de l'anhydride sulfureux moléculaire*, «Connaissance Vigne et Vin», 19, pp. 31-40.
- USSEGLIO-TOMASSET L. (1985): *Chimica Enologica*, II edizione, AEB, Brescia.
- USSEGLIO-TOMASSET L. (1986): *Le azioni dell'anidride solforosa sui vini*, «Vini d'Italia», 1, pp. 29-34.

Frutticoltura

P. PICCAROLO¹, M. VIERI²

Digitalizzazione colture arboree

¹ Accademia dei Georgofili

² GESAAF, Università degli Studi di Firenze

Nelle colture arboree, le innovazioni recenti sono state indirizzate al miglioramento della gestione puntuale, con azioni di monitoraggio, analisi, scelta e prescrizione, piuttosto che verso l'aumento della produttività operativa. Le prime applicazioni di agricoltura di precisione in queste coltivazioni sono state rivolte non tanto a risparmiare gli input, ma a migliorare e uniformare la qualità delle piante, del terreno, delle pratiche colturali e dei relativi prodotti primari. Si è puntato quindi sull'innalzamento della qualità di processo e di prodotto con l'inserimento di azioni nuove che costituiscono operazioni aggiuntive ed ulteriori alle pratiche colturali. Ecco che è emersa quindi la necessità di un approccio imprenditoriale rinnovato che identifica le tecnologie e i relativi servizi di supporto, sulla base di una precisa identificazione delle proposte di valore” nel modello di business.

Nello specifico delle tecnologie innovative disponibili, le “proposte di valore” identificate dai nuovi modelli di business evidenziano prioritariamente la necessità di rispondere ai rischi crescenti derivanti dai cambiamenti climatici, per gli eventi sempre più estremi, quali rovesci piovosi, vento, siccità, gelate tardive, insetti e patogeni alieni. L'azione di queste innovazioni si concretizza nella adozione di sistemi di rilevamento e di supporto alle decisioni. È ormai collaudata l'adozione di stazioni meteorologiche diffuse che sempre più si connettono a formare reti locali con cui, attraverso servizi di analisi dati e di emissione di previsioni di supporto alle decisioni, si offre all'imprenditore agricolo uno strumento di razionalizzazione ed ottimizzazione nella gestione delle coltivazioni arboree. Questo insieme di strumenti e servizi permette di adottare strategie di difesa fitosanitaria mirate, con maggiore efficienza dei prodotti applicati, soprattutto nell'impiego dei nuovi e costosi prodotti eli-

citari, induttori di resistenza, con una riduzione fino al 20 % del numero di trattamenti e una conseguente riduzione dei costi. Recentemente è stato messo a punto un network territoriale nel comprensorio di Montalcino, che attraverso una piattaforma digitale, coinvolge le aziende del territorio e mette in rete tutte le stazioni di rilevamento private e pubbliche. Il progetto OenoSmart rappresenta il caso di uso più evoluto di cooperazione digitale territoriale di produttori (<https://brunello.ciatoscana.eu/>), in cui i servizi digitali alle imprese agricole hanno valore condiviso su alcuni dati come quelli ambientali, ma riservato, su altri come lo stato dei terreni, della coltura e del prodotto raccolto che costituiscono un valore di processo. Il risultato è molto superiore alla semplice somma dei dati poiché nella rete territoriale, con opportune interpolazioni, è possibile avere un monitoraggio territoriale con magli e precisione delle informazioni che risulta molto più elevata.

Altra “proposta di valore” richiesta oggi dalle imprese di coltivazioni arboree riguarda il mantenimento e la valorizzazione della qualità del prodotto. Per raggiungere questo obiettivo è sorta la necessità di distinguere e caratterizzare ogni singola pianta tramite strumenti digitali dedicati che potessero avere “risoluzione” compatibile con l’identificazione della singola pianta ovvero inferiore al metro quadrato.

Il GIS aziendale, pur non essendo una tecnologia nuova, è sicuramente innovativa per le aziende agrarie, e rappresenta pertanto la base imprescindibile per poter attuare la digitalizzazione nella gestione delle colture e l’attuazione della agricoltura di precisione. Tutta la filiera che va dai monitoraggi, siano essi remoti, distali o prossimali, alla valutazione anche con ausilio di DSS (sistemi di supporto alle decisioni), fino alle mappe di prescrizione ed al mandato digitale di missione che viene trasmesso o inserito nella macchina operatrice, o sullo smartphone del singolo operatore, è controllata da un sistema informativo integrato, il GIS.

Sempre su GIS si integra nel FMIS (farm management integrated system) il monitoraggio dello stato colturale, della maturazione delle uve e il feedback imprescindibile sulla qualità e quantità del raccolto.

Se i passaggi precedenti sono stati attuati in modo proficuo e si dispone della loro digitalizzazione su base GIS, è possibile prevedere l’ottimizzazione di processo con le operazioni a rateo variabile (variable rate treatments VRT) che dovranno essere sempre scelte in base alla proposta di valore aggiunto, alla verifica della maturità tecnologica del dispositivo innovativo e del sistema di supporto (i produttori, chi regola, mette a punto, mantiene e ripara hardware e software, i tecnici interni ed esterni all’azienda, i consulenti, il sistema formativo).

Storicamente, le innovazioni tecniche di agricoltura di precisione intro-

dotte nelle colture arboree sono state gli spandiconcime, le defogliatrici e le diradatrici a rateo variabile; più recentemente si stanno diffondendo macchine per la distribuzione di antiparassitari che effettuano una applicazione mirata dove è presente la vegetazione e nella misura corrispondente alla massa fogliare. Le nuove irroratrici automatizzate e “sensibilizzate” permettono di ottenere una riduzione molto elevata delle dispersioni fuori bersaglio con risparmi di dosaggio che di aggirano sul 50%. Ciò rappresenta un obiettivo fondamentale sia per la riduzione dell’impiego di prodotti antiparassitari convenzionali sia nella necessità di contenere i costi nell’impiego di nuovi prodotti elicitori, induttori di resistenza.

Una delle recenti innovazioni tecnologiche digitali che si stanno introducendo è relativa ai sistemi di tracciabilità delle operazioni meccanizzate; questi consentono di verificare la qualità operativa ed individuare eventuali miglioramenti da apportare. Durante l’applicazione di fitofarmaci, ad esempio, gli errori umani, spesso inevitabili, avvengono con elevata frequenza (10-15% dei casi), il che comporta filari non trattati o trattati due volte. Il Progetto GO Campi Connessi, che si sta attuando in Toscana in una rete di aziende leader, ha l’obiettivo di evidenziare e rendere consapevoli i gestori delle operazioni in merito alle procedure da migliorare. Il passo digitale successivo sarà la presenza di navigatori a bordo dei trattori che operano nelle coltivazioni arboree che non possono, come nelle coltivazioni di pieno campo, avere una guida automatica solo satellitare. Il navigatore dovrà individuare il percorso ottimizzato, anche in relazione ai riempimenti da effettuare e guidare dettagliatamente il conducente sul filare da trattare.

Chiudendo questa breve nota sulle innovazioni nelle colture arboree è doveroso evidenziare come la digitalizzazione si esprimerà a breve nella introduzione di automazione, o meglio, di sistemi di flotte di robot per effettuare operazioni ripetitive e onerose che richiedono grande precisione.

I droni sono già adottati nella fase di monitoraggio, con strumenti fotografici e successiva processazione per ottenere mappe tematiche georeferenziate; sebbene i risultati scientifici siano eccezionali, la loro applicabilità su vasta scala risulta ancora problematica. I droni vengono però sempre più impiegati per la distribuzione di prodotti liquidi, polverulenti e di capsule con uova di predatori, sostituendosi in questo caso al trattore.

Per i robot la situazione è ancora allo stato sperimentale, anche se esperienze francesi sulla viticoltura stanno dimostrando le grosse potenzialità di questi strumenti in operazioni delicate, come i trattamenti antiparassitari, oppure onerose, come il controllo delle infestanti lungo il filare (<https://www.youtube.com/watch?v=epoHEeyBgZs>; <https://www.youtube.com/>

watch?v=Bcci-RKMcOw). Anche in Italia partenariati intersettoriali stanno sperimentando soluzioni robotiche per le coltivazioni arboree e nei prossimi anni questa innovazione potrà essere disponibile; si tratta di tecnologie molto avanzate che richiederanno personale e strutture specializzate ed in tal senso il settore dei servizi rappresenta la forma imprenditoriale più appropriata per la loro gestione.

V. POMPILI¹, L. DALLA COSTA¹, S. PIAZZA¹, M. MALNOY¹

Impiego della tecnologia CRISPR/Cas9-FLP/FRT per rendere cultivar di melo meno suscettibili al colpo di fuoco batterico

¹ Dipartimento di Biologia e Genetica delle Piante da frutto, Centro di Ricerca ed Innovazione, Fondazione Edmund Mach, San Michele all'Adige, Trento

Le principali cultivar di melo attualmente in commercio sono suscettibili al colpo di fuoco batterico causato dal batterio *Erwinia amylovora*. Allo scopo di contrastare questo patogeno, verso il quale i trattamenti fitosanitari (come l'impiego di specifiche pratiche colturali, o il controllo chimico e biologico) hanno un'efficacia limitata, sono state prodotte cultivar resistenti mediante breeding tradizionale (ad esempio 'Rewena' ed 'Enterprise'; Kellerhals et al., 2014), i cui frutti tuttavia non soddisfano qualitativamente le aspettative dei consumatori. Anche l'ingegneria genetica è stata sfruttata per inserire in varietà di pregio geni di resistenza derivati da genotipi selvatici (Broggini et al., 2014; Kost et al., 2015). Tuttavia, la resistenza indotta da questi geni è già stata superata dal batterio che ha subito un rapido processo evolutivo. Un'ulteriore strategia, che in base ad evidenze in altre specie sembra poter essere più durevole rispetto a quella basata sui geni di resistenza, consiste nel silenziamento dei geni di suscettibilità della pianta utilizzati dal patogeno per innescare l'infezione. La famiglia dei geni *DIPM*, composta da 4 membri codificanti per proteine con attività recettoriale, sembra essere sfruttata da *Erwinia amylovora* per disattivare la risposta di difesa della pianta, rendendola di fatto suscettibile (Meng et al., 2006). Pertanto, l'inattivazione dei membri di questa famiglia genica ci è apparsa una linea di ricerca promettente su cui puntare per ridurre la suscettibilità del melo a questo patogeno.

Per attuare questo progetto ci siamo serviti della tecnologia di editing genetico mediato da *Agrobacterium tumefaciens*. Lo strumento attualmente più avanzato per l'editing genetico è CRISPR/Cas9, sistema ad altissima efficienza, mutuato dai batteri e applicato per la prima volta in melo nel 2016 (Nishitani et al., 2016). Questa formidabile tecnologia ha visto negli ultimi anni una notevole diffusione nel campo delle biotecnologie vegetali perché

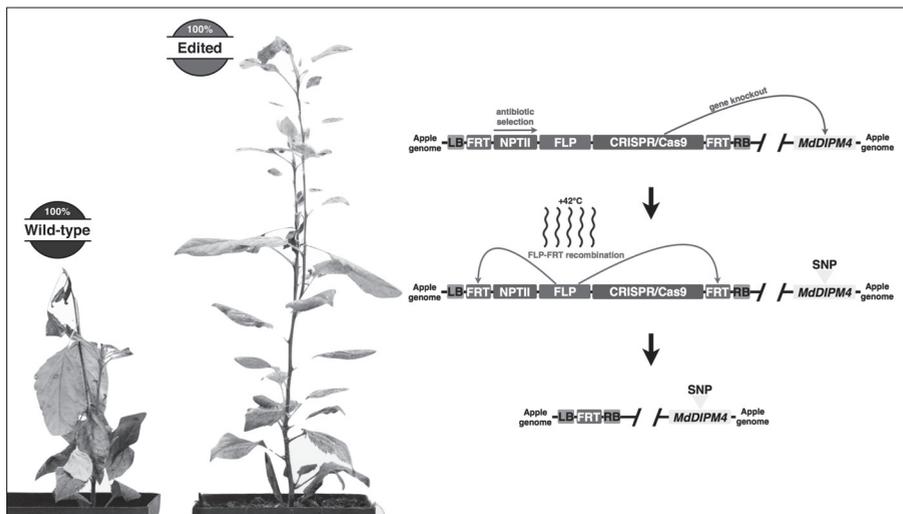


Fig. 1 Applicazione del sistema di editing genico CRISPR/Cas9-FLP/FRT per la produzione di cultivar di melo con ridotta suscettibilità al colpo di fuoco batterico e una minima traccia di DNA esogeno

permette di ottenere facilmente mutazioni INDEL (inserzioni/delezioni) in sequenze geniche target con conseguente perdita o alterazione della funzione della proteina codificata.

Le piante 'Gala' e 'Golden Delicious' editate nel gene *DIPM4* (fig. 1), con mutazioni che generavano codoni di stop prematuri e deleteri per la funzionalità recettoriale, sono risultate significativamente meno suscettibili al patogeno rispetto alle piante wild-type, senza effetti pleiotropici sul fenotipo né effetti off-target a livello genetico. Questo studio, durato circa 3 anni, ha permesso di dimostrare il ruolo chiave di un gene di melo nella suscettibilità a un'importante malattia. È in corso di sperimentazione lo spegnimento degli altri membri della famiglia genica *DIPM*.

Parallelamente, abbiamo anche studiato delle modalità per apportare un'innovazione al processo di trasferimento genico via Agrobatterio, attualmente ancora il più diffuso, al fine di minimizzare il più possibile la presenza di DNA esogeno nel genoma delle piante editate. Il costrutto binario che è stato inserito in Agrobatterio conteneva nel T-DNA (porzione di DNA che viene trasferita alla pianta) un sistema di ricombinazione sito-specifica indotto da calore (regolato da un promotore heat-shock), basato sulla ricombinasi FLP e sui siti da essa riconosciuti (FRT) posti alle due estremità del T-DNA (fig. 1). Questo sistema è risultato efficace per la rimozione di una cassetta

di T-DNA di oltre 10 kb, contenente il sistema CRISPR/Cas9, il gene marcatore per la resistenza alla kanamicina e la ricombinasi stessa. Nel genoma delle piante editate è rimasto un piccolo frammento di DNA esogeno della lunghezza di poco più di un centinaio di basi.

Sebbene il DNA esogeno non sia stato completamente rimosso, questo risultato va nella direzione di rendere queste tecnologie sempre più precise e pulite come auspicato dai cittadini/consumatori. Molti paesi nel mondo (USA, Argentina, Australia, Brasile, Cile) hanno stabilito che se un prodotto di editing non contiene DNA esogeno deve essere considerato come un prodotto convenzionale e va esentato dalla regolamentazione OGM. In Europa, al momento, qualsiasi modifica genetica prodotta in laboratorio (con l'eccezione dei prodotti ottenuti con mutageni fisico-chimici) viene regolamentata nell'ambito della normativa sugli OGM. Tuttavia, in futuro le Direttive Europee potrebbero subire variazioni anche alla luce del fatto che uno dei pilastri su cui si fonda il principio di precauzione, da sempre faro e guida dei legislatori europei, è la revisione delle misure sulla base del progresso scientifico e tecnologico (Aerni et al., 2019).

BIBLIOGRAFIA

- AERNI P. (2019): *Politicizing the Precautionary Principle: why disregarding facts should not pass for farsightedness*, «Front Plant Sci», doi: 10.3389/fpls.2019.01053.
- BROGGINI G.A., WÖHNER T., FAHRENTTRAPP J., KOST T.D., FLACHOWSKY H., PEIL A. ET AL. (2014): *Engineering fire blight resistance into the apple cultivar 'Gala' using the FB_MR5 CC-NBS-LRR resistance gene of Malus × robusta 5*, «Plant Biotechnol J», 12, pp. 728-733.
- KELLERHALS M., SCHÜTZ S., BAUMGARTNER I.O., SCHAAD J., KOST T., BROGGINI G. ET AL. (2014): *Züchtung feuerbrandrobuster Apfelsorten*, «Agrarforschung Schweiz», 5, pp. 414-421.
- KOST T.D., GESSLER C., JÄNSCH M., FLACHOWSKY H., PATOCCHI A. AND BROGGINI G.A. (2015): *Development of the first cisgenic apple with increased resistance to fire blight*, «PLoS One», doi: 10.1371/journal.pone.0143980.
- MENG X.D., BONASERA J.M., KIM J.F., NISSINEN R.M. AND BEER S.V. (2006): *Apple proteins that interact with DspA/E, a pathogenicity effector of Erwinia amylovora, the fire blight pathogen*, «Mol Plant Microbe Interact», 19, pp. 53-61.
- NISHITANI C., HIRAI N., KOMORI S., WADA M., OKADA K., OSAKABE K. ET AL. (2016): *Efficient genome editing in apple using a CRISPR/Cas9 system*, «Sci Rep», doi: 10.1038/srep31481.

G. CARACCIOLO¹, S. SIRRI¹, G. BARUZZI¹

Nuove cultivar e selezioni di pero a buccia rossa e polpa rossa

¹ CREA - Centro di ricerca Olivicoltura, Frutticoltura e Agrumicoltura, sede di Forlì

La coltura del pero è una delle più importanti per l'Emilia-Romagna, nonostante negli ultimi anni si sia registrata una contrazione delle superfici e delle produzioni. Questo è avvenuto soprattutto a causa delle nuove problematiche fitosanitarie che ogni anno mettono a rischio la produzione (il colpo di fuoco e la cimice asiatica) e di un prezzo al produttore sempre più basso. L'innovazione varietale è un elemento di grande importanza per il rinnovamento della frutticoltura moderna, sempre alla ricerca di nuove finestre di mercato che diano maggiore redditività e possano risolvere diverse e importanti problematiche che caratterizzano la filiera produttiva del pero. Perché una nuova varietà si possa affermare sul mercato, è importante poterla distinguere dalle altre, ad esempio un frutto rosso o bicolore, a polpa rossa e di elevata qualità organolettica (es. polpa croccante, succosa e con aroma tipico) e che si presti a un "facile" consumo, in linea con il mutamento delle abitudini alimentari di frutta. Il consumatore è sempre più attratto da frutti di colore rosso, non solo per la qualità estetica ma anche per il contenuto in sostanze biologicamente attive anche nella polpa, quali flavonoidi e le antocianine, che sono tra i principali e più studiati composti antiossidanti.

Presso il CREA-OFA di Forlì è attivo un programma di breeding sul pero avviato negli anni '70. Attraverso l'incrocio con varietà che presentano la buccia di colore rosso, quali Max Red Bartlett, Piros Wilmos e Cascade, un carattere controllato di singoli geni principali, in particolare monogenici e dominanti (Dondini et al., 2008), sono state ottenute delle selezioni che oltre a presentare la buccia di colore rosso ricadono in un'epoca di maturazione commerciale autunno-invernale, che risulta essere il periodo di maggior richiesta di prodotto da parte del consumatore (Caracciolo et al., 2018). Nel 2012, il CREA nell'ambito del "Progetto di



Fig. 1 *Cultivar Falstaff^{pvr}*



Fig. 2 *Frutti di 'CREA-125'*

breeding Melo e Pero” cofinanziato dal Consorzio New Plant, ha richiesto la privativa comunitaria della selezione ‘CRA-FRF 180’, prima cultivar a buccia rossa ottenuta da questo programma di breeding, denominata ‘Falstaff^{pvr}’ (Community Plant Variety Rights title n. 47553). Per questa varietà (fig. 1) è stato creato un CLUB, gestito commercialmente da CO.PE. RO (società consortile), che si propone di valorizzare, promuovere, pianificare, controllare e tutelare la produzione e la commercializzazione di tale varietà. Quest’ultima nel 2012 è risultata vincitrice dell’Oscar Macfrut,



Fig. 3 *Frutti di 'CREA-125'*

assegnato attraverso la votazione di visitatori ed espositori, come novità che punta alla qualità.

Falstaff è una varietà autunnale, ottenuta nel 1991 dall'incrocio tra 'Abate Fétel' e 'Cascade'. L'albero è piuttosto vigoroso con un portamento fortemente assurgente; produce gemme miste all'apice dei rami (brindilli), che nell'anno successivo provvedono a dar origine a frutti che con il loro peso ne causano il piegamento. A causa di tale comportamento, il germoglio proveniente dalla gemma mista cresce poco, mentre si formano uno o due germogli in corrispondenza della curvatura del ramo, dei quali uno potrà essere utilizzato in sostituzione di quello originale. Necessita di una accurata gestione per ridurne la vigoria a favore di una maggiore produttività. La varietà produce oltre che su brindilli, anche su lamburde; richiede una potatura lunga e il ricorso a tagli di rinnovo per favorire il ricambio delle formazioni produttive. 'Falstaff^{PVR}', con il suo comportamento, si adatta bene alle forme di allevamento in parete, mentre si presta poco a essere allevata secondo forme in volume del tipo fusetto poiché l'albero mal sopporta i tagli di raccorciamento sul legno di uno e due anni tendendo a non reagire e a far invecchiare il ramo raccorciato molto rapidamente (Pallotti et al., 2016).

I frutti si raccolgono nella prima settimana di settembre. Presentano un bell'aspetto con forma allungata e colore rosso intenso, variabile in funzione del portainnesto e del momento di raccolta. La polpa è bianca, fondente, dal sapore speciale e aromi speziati (Faedi e Sirri, 2012). Ad oggi sono stati pian-



Fig. 4 *Frutti di 'CREA-171'*

tati circa 80 ettari. Il raccolto 2019 ha presentato buon calibro e un colore nella norma.

Il programma presenta attualmente numerose altre selezioni a buccia rossa in fase finale di collaudo presso i produttori: 'CREA 125' ottenuta dall'incrocio 'Conference' x 'Piros Wilmos', con frutti di media pezzatura, polpa bianco-gialla, fine, succosa e di sapore dolce, che si raccoglie nella terza decade di agosto (fig. 2); 'CREA 179', originata da 'Cascade', di forma turbinata simile a quella di 'Decana del Comizio', medio-grossa pezzatura; la polpa è di colore bianco-giallo, fine, dolce e succosa, di buon sapore; si raccoglie nella seconda decade di settembre (fig. 3); 'CREA 171', ottenuta dall'incrocio 'Super Elliott' x 'Max Red Bartlett' rientra nella tipologia "William simile"; si raccoglie nella terza decade di settembre, presenta frutti di medio-grossa pezzatura; la polpa è di colore bianco, fine, di buon sapore (fig. 4); 'CREA 185', originata dall'incrocio tra 'Conference' e 'Cascade', si raccoglie nella prima decade di settembre ed è una "Decana simile"; la polpa è di colore bianco-giallo, molto fine e succosa, di sapore dolce (fig. 5).



Fig. 5 *Frutti di 'CREA-185'*

Di grande interesse appare la colorazione rossa della polpa. Esistono infatti alcune antiche varietà presenti nella collina romagnola che possiedono il carattere polpa rossa che prendono il nome di 'Cocomerina'. Ne esistono due diverse tipologie, una a maturazione precoce (agosto) e una a maturazione tardiva (inizio autunno). Seppur marginalmente, queste due varietà vengono ancora coltivate in alcuni specifici areali in virtù del loro valore storico-culturale e per la loro componente nutraceutica. Queste pere a polpa rossa hanno ottenuto nel 2003 il presidio 'Slow Food', grazie alla ricchezza di composti antiossidanti che gli conferiscono una elevata capacità antinfiammatoria (Bucchini *et al.*, 2016). Fino ad ora gli studi condotti sulla presenza di antocianine si sono concentrati quasi esclusivamente all'individuazione dei meccanismi genetici che controllano il loro accumulo a livello della buccia, mentre mancano informazioni sul loro accumulo nella polpa.

Nell'ottica di una diversificazione della tipologia di frutti di pere, nel programma di miglioramento genetico in atto presso il CREA Olivicoltura, Frutticoltura e Agrumicoltura di Forlì sono state eseguite alcune combinazioni di incrocio con la pera 'Cocomerina' e sono state individuate alcune nuove linee dotate di buone caratteristiche organolettiche e colorazione rossa



Fig. 6 *Frutti di nuove selezioni di pero a polpa rossa*

della polpa. Le prime verifiche sperimentali su queste nuove accessioni sono in corso (fig. 6).

BIBLIOGRAFIA

- BUCCHINI A., SCOCCIANI V., RICCI D. & GIAMPERI L. (2016): *Cocomerina pear: an old and rare fruit with red pulp. Analysis of phenolic content and antioxidant/anti-inflammatory capacity*, «CyTA-Journal of Food», 14 (4), pp. 518-522.
- CARACCILO G., SIRRI S., BARUZZI G. (2018): *Update on CREA Centro di ricerca Olivicoltura, Frutticoltura e Agrumicoltura pear breeding program*, XIII International Pear Symposium, Montevideo, 4-7, December.
- DONDINI L., PIERANTONI L., ANCARANI V., D'ANGELO M., CHO K.-H., SHIN I.-S., MUSACCHI S., KANG S.-J., SANSAVINI S. (2008): *The inheritance of the red colour character in European pear (Pyrus communis) and its map position in the mutated cultivar Max Red Bartlett*, «Plant and breeding», 127, pp. 524-526.
- FAEDI W., SIRRI S. (2012): *Falstaff, una nuova variet  di pera roja*, «Revista de Frutticoltura», 9, pp. 14-15.
- PALLOTTI G., BARUZZI G., CARACCILO G., SIRRI S. (2016): *Nuovo interesse per le pere rosse, prime osservazioni sui cloni del Crea*, «Frutticoltura», 10, pp. 12-17.

G. BARUZZI¹, P. SBRIGHI¹, M. PIETRELLA¹,
M. L. MALTONI¹

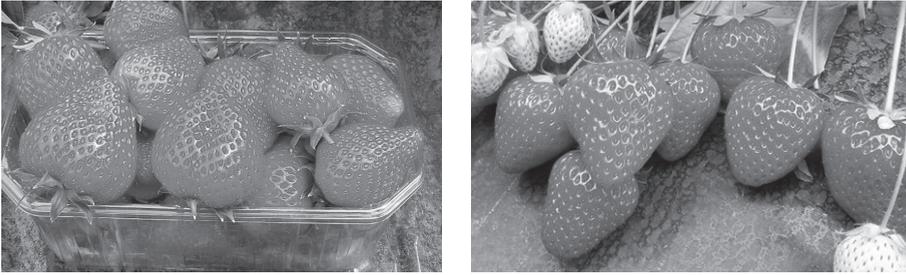
Le fragole aromatiche

¹ Consiglio per la ricerca in agricoltura e l'analisi dell'economia, Centro per l'Olivicoltura, l'Agrumicoltura e la Frutticoltura

Le attività di breeding che hanno portato alla costituzione delle moderne cultivar di fragola coltivate (*Fragaria x ananassa*, ottoploide) solitamente non si sono concentrate sulla componente aromatica, che caratterizza invece la cosiddetta “fragola di bosco” (*Fragaria vesca*, diploide), ampiamente coltivata in alcune aree italiane e la “fragola moscata” (*Fragaria moschata*, esaploide) ancora coltivata su limitatissime superfici nella zona di Tortona (AL).

Tutti i programmi di breeding infatti si sono concentrati principalmente sulla produttività, sulla resistenza della pianta ai patogeni dell'apparato radicale, sulla consistenza della polpa e sulla resistenza della superficie del frutto (caratteristiche queste che garantiscono lunga conservabilità), sul colore luminoso e stabile del frutto (sintomo di freschezza del prodotto), mentre hanno spesso posto in secondo piano alcuni aspetti qualitativi come la dolcezza e l'aroma. Le moderne varietà di fragola, tuttavia, per poter garantire un reddito adeguato al produttore, non devono solo essere produttive, ma anche dolci. Di maggiore complessità appare invece l'introduzione del carattere responsabile dell'aromaticità nel genoma delle nuove varietà, in quanto esso è spesso il risultato della combinazione di molteplici metaboliti. Questa componente infatti, presente in vecchie cultivar inadatte all'attuale produzione commerciale su larga scala, ha subito una inevitabile erosione genetica e alcuni tratti sensoriali si sono inesorabilmente persi nelle varietà moderne. Una delle ragioni potrebbe essere legata alla ricerca nel processo selettivo di materiale genetico con polpa sempre più consistente, carattere negativamente correlato con la capacità di rilasciare composti volatili aromatici.

Nell'ambito dell'attività di breeding condotto presso il CREA-OFA di Forlì è stato avviato uno specifico programma di reincroci e successive azioni di selezione ricorrente al fine di introdurre nelle moderne varietà la caratteri-



Frutti della selezione CRAPO 135, denominata "AROMATICA"

stica aromaticità del frutto presente in alcune antiche cultivar europee, come "Mieze Schindler", "Fracunda" e "Fratina". Il percorso di introgressione del carattere è durato 5 generazioni e in circa un ventennio sono stati ottenuti i primi materiali genetici di interesse commerciale, dotati di spiccata aromaticità del frutto che richiama sia la "fragolina di bosco" che la "fragola moscata", sebbene queste specie non compaiano nel loro pedigree perché il diverso grado di ploidia non consente di effettuare incroci.

Lo studio dei profili aromatici di alcuni materiali genetici ottenuti da questa attività di breeding mediante GC-MS ha evidenziato elevate quantità di esteri aromatici: due composti, identificati rispettivamente come butilbutiril-lattato e butanoato di ottile, caratterizzano in particolare il bouquet aromatico complessivo di queste accessioni (Bianchi *et al.*, 2017). Entrambi i composti sono assenti o presenti solo in piccole tracce nelle tradizionali cultivar. BBL in particolare, isolato negli oli essenziali di Valeriana e Salvia, non era mai stato segnalato nella fragola.

Nel contempo sono stati avviati studi molecolari al fine di identificare marcatori che possano agevolare la selezione di questo materiale genetico, sebbene il carattere "aromaticità" sia molto complesso sia perché spesso risulta dall'interazione di molteplici elementi sintetizzati attraverso diverse vie metaboliche, sia perché è fortemente influenzato dall'ambiente (andamento climatico in particolare).

Recentemente è stata diffusa commercialmente la prima accessione di fragola aromatica denominata CRAPO 135 (depositata al CPVO l'11/1/2019 file number 2018/3527) nell'ambito dell'attività di breeding pubblico-privata condotta dal CREA-OFA e l'Associazione di Produttori APO SCALIGERA.

CRAPO 135 è una cultivar unifera adatta agli ambienti settentrionali, veronesi in particolare, con epoca di maturazione intermedia e produttività media. La pianta presenta habitus e accostamento intermedio. I frutti, di forma conica, molto regolare, sono di media pezzatura e colorazione rossa,

talvolta aranciata, sempre molto brillante e stabile durante la conservazione. La polpa è piuttosto consistente, molto dolce, aromatica e con profumo che ricorda quello della “fragolina di bosco”. In alcuni casi i frutti mantengono il petalo del fiore fino alla maturazione. Si adatta a essere coltivata sia in coltura protetta che in pieno campo facendo ricorso a sia a piante “frigoconservate” che fresche (cime radicate).

È in corso un programma promozionale al fine di far conoscere le caratteristiche peculiari di questa varietà e valutare il grado di apprezzamento da parte dei consumatori.

BIBLIOGRAFIA

BIANCHI G., LUCCHI P., MALTONI M.L., FAGHERAZZI A.F. AND BARUZZI G. (2017): *Analysis of aroma compounds in new strawberry advanced genotypes*, «Acta Hortic.», 1156, pp. 673-678, DOI: 10.17660/ActaHortic.2017.1156.98.

G. DE MORI¹, R. TESTOLIN¹, G. CIPRIANI¹

Sviluppo di marcatori molecolari per la selezione di genere in actinidia

¹ Dipartimento di Scienze Agroalimentari, Ambientali e Animali, Università di Udine

Il genere *Actinidia* Lindl., costituito da circa 54 specie, rappresenta piante rampicanti che provengono principalmente dalla Cina centrale e meridionale.

Il Kiwi è una delle colture da frutto più recentemente addomesticate. Lo sviluppo di nuove cultivar con nuovi tratti interessanti per il consumatore, tra cui sapore, aspetto, componenti salutistici, ha guidato il successo commerciale di questo frutto e negli ultimi 35 anni in particolare tra le numerose specie, due (*Actinidia chinensis* var. *chinensis*/*A.chinensis* var. *deliciosa*) sono divenute un'importante coltura orticola, prima in Nuova Zelanda e successivamente in altri paesi come Cile, Cina e Italia.

Un carattere oggetto di studio è il genere. Il carattere che è stato mappato nella regione sub-telomerica del LG25 del genoma di kiwi. Come detto sopra, il kiwi è una specie dioica e il controllo di questo carattere è mono-fattoriale. Questo significa che il genere è apparentemente controllato da un singolo determinante mendeliano e il sesso femminile è omogametico (XX) mentre il sesso maschile è eterogametico (XY) (Testolin et al., 1995; Harvey et al., 1997).

Recentemente Akagi et al. 2018 hanno individuato un gene denominato SyGI, presente solamente nelle piante maschili. Questo gene sarebbe putativamente coinvolto nello sviluppo del fiore maschile andando ad inibire lo sviluppo delle parti femminili del fiore (gineceo). Tuttavia il gene non va a influire sulla fertilità del polline, perciò ci deve essere un'altra mutazione che regola questo aspetto.

Al fine di comprendere meglio questo aspetto, inizialmente sono stati testati dei primers disegnati da Akagi et al. 2018 sul gene SyGI sulla collezione di germoplasma dell'Università di Udine.

Lo scopo era di verificare se effettivamente c'era presenza/assenza di questo gene nelle piante (nel nostro caso il sesso è già noto) e di conseguenza se questi

primer potevano essere adatti per lo screening di collezioni di germoplasma comprendenti diverse specie e con ploidie differenti.

I primer disegnati sul gene SyGI sono in grado di discriminare tra piante maschili e femminili con un semplice segnale di presenza/assenza sia tra le specie sia su piante con ploidie differenti.

È stato messo a punto un semplice protocollo sperimentale che può essere eseguito su un estratto di foglia grezzo. Gli amplificati possono essere separati su gel di agarosio, su sequenziatore capillare o anche attraverso una reazione in realtime PCR.

I risultati sono in corso di pubblicazione e il protocollo sperimentale potrà essere utilizzato per una selezione rapida dei genotipi femminili, riducendo i costi di gestione dei programmi di miglioramento genetico.

BIBLIOGRAFIA

- AKAGI T., HENRY I. M., OHTANI H., MORIMOTO T., BEPPU K., KATAOKA I. & TAO R. (2018): *A Y-encoded suppressor of feminization arose via lineage-specific duplication of a cytokinin response regulator in kiwifruit*, «Plant Cell», 30 (4), pp. 780-795, <<https://doi.org/10.1105/tpc.17.00787>>.
- HARVEY C.F., GILL G.P., FRASER L.G., MCNEILAGE M.A. (1997): *Sex determination in Actinidia. 1. Sex-linked markers and progeny sex ratio in diploid A. chinensis*, «Sexl Plant Reprod», 10, pp. 149-154.
- TESTOLIN R., CIPRIANI G., COSTA G. (1995): *Sex segregation ratio and gender expression in the genus Actinidia*, «Sexual Plant Reprod», 8, pp. 129-132.

M. CARUSO¹, P. CARUSO¹, C. LICCIARDELLO¹, G. RUSSO¹

Nuove varietà di agrumi del CREA, e nuove strategie di valorizzazione delle innovazioni di prodotto

¹ CREA Centro di ricerca olivicoltura, frutticoltura e agrumicoltura, Acireale (CT)

Il Centro di ricerca Olivicoltura, frutticoltura e agrumicoltura del CREA conduce da oltre 70 anni un programma di breeding degli agrumi finalizzato all'ottenimento di nuovi ibridi e selezioni clonali di agrumi che possano migliorare il panorama varietale attuale e ampliare il calendario di commercializzazione. Inoltre, i ricercatori del Centro portano avanti programmi di miglioramento genetico del portinnesto e degli agrumi ornamentali.

Uno dei fattori limitanti per la diffusione di nuove varietà di agrumi è il processo di valutazione, che può richiedere oltre un decennio. Il successo commerciale di una varietà dipende certamente dalle sue caratteristiche pomologiche (qualità organolettiche ed estetiche dei frutti, apirenia, aspetti salutistici), ma è anche necessario che una nuova varietà sia produttiva e adattabile a diverse condizioni pedoclimatiche. È quindi auspicabile che la valutazione venga eseguita in diverse zone di produzione. Il processo di valutazione in diverse condizioni ambientali e l'ottimizzazione delle tecniche colturali rappresentano quindi aspetti chiave per ottenere informazioni approfondite sulla performance di nuove varietà prima della costituzione di impianti commerciali, limitando quindi i rischi degli operatori del settore propensi ad investire nelle innovazioni di prodotto.

Di recente il CREA ha definito una nuova strategia per la diffusione delle sue innovazioni varietali nell'ambito degli agrumi, con un programma denominato "fast-track", che per la prima volta punta a consolidare le interazioni tra l'Ente pubblico e gli operatori della filiera agrumicola nazionale. Attraverso il programma, le nuove selezioni di arance pigmentate e ibridi di mandarino del CREA vengono messi a disposizione delle organizzazioni di produttori, a seguito di avviso pubblico e concessione di licenze di valutazione non esclusive per favorire l'intero settore agrumicolo. Alcune delle nuove selezioni propo-



Fig. 1 Due nuove varietà di agrumi del CREA, rilasciate alle Organizzazioni di produttori nazionali; mandarino 'Red sunset' (a sinistra) e Tarocco 'CREA-2' (a destra)

ste presentano delle caratteristiche innovative in termini di caratteristiche pomologiche e di epoca di maturazione: gli ibridi 'Sun red' (CPVO application no. 2015/2705), 'Galatea' (CPVO application no. 2017/1004) e 'Red Sunset' (CPVO application no. 2019/2332) sono mandarini a polpa rossa, unici nel panorama internazionale, e puntano ad ampliare il calendario di commercializzazione di questa tipologia di agrumi, già rappresentata dal 'Tacle e dal 'Mandared'; il 'Bellini' (CPVO application no. 2017/1003) è un ibrido di pompelmo caratterizzato da una minore acidità, minore contenuto di naringina e di furanocumarine (quest'ultimi sono composti che interagiscono negativamente con numerosi principi attivi di farmaci) rispetto ai comuni pompelmi presenti sul mercato; il mandarino 'Ionio' (CPVO application no. 2019/2333) presenta un aroma simile al mandarino comune, ma è caratterizzato da apirenia ed epoca di maturazione più precoce. La protezione brevettuale per alcune delle selezioni proposte è stata intrapresa per una maggior tutela dei produttori nazionali che in futuro vogliono investire su innovazioni protette da privativa.

Questo nuovo metodo porta a un maggiore coinvolgimento dei privati nella scelta delle innovazioni varietali più rispondenti alle esigenze di mercato. Le OP avranno la possibilità di valutare le varietà direttamente presso le proprie aziende, e forniranno al CREA informazioni sulla loro performance agronomica. L'impegno delle OP nel processo di valutazione viene ricompensato da un diritto di prelazione nella eventuale costituzione di impianti commerciali e da sconti sulle *royalties* nel caso in cui, alla fine della fase di valutazione, il CREA opti per la diffusione commerciale di una specifica varietà. Il programma porterà quindi a una riduzione dei tempi di sviluppo di nuove varietà commerciali, particolarmente lunghi nel caso degli agrumi.

Dal 2017 ad oggi, il fast track ha permesso di stipulare otto contratti con altrettante OP delle maggiori regioni agrumicole Italiane (Sicilia, Calabria, Puglia e Campania). L'interesse suscitato dai primi bandi ha portato alla pubblicazione di un nuovo avviso pubblico nel 2020 che include ulteriori selezioni, e nel 2021 è previsto un ulteriore accordo con una OP sarda. Sulla base dei risultati delle prime valutazioni, una delle OP aderenti ha già manifestato l'interesse per la costituzione di impianti commerciali con due delle nuove selezioni proposte. Sulla base del riscontro ottenuto, il programma fast-track potrà favorire una costante interazione tra il CREA e gli operatori del settore, rendendo la filiera agrumicola nazionale più competitiva nei mercati nazionali ed esteri.

BIBLIOGRAFIA

- CARUSO M., RUSSO G. (2019): *“Fast track”, proposta del Crea per rilascio dei nuovi genotipi*, «Frutticoltura», 1, pp. 34-36.
- RUSSO G., LICCIARDELLO C., CARUSO P., RUSSO M.P., PIETRO PAOLO D., REFORGIATO RECUPERO G., RAPISARDA P., BALLISTRERI G., FABRONI S., CARUSO M. (2016): *New CREA citrus hybrids*, «Citrus R&T», vol. 37, n. 1, pp. 98-101, <<http://dx.doi.org/10.4322/crt.ICC076>>.

D. GIOVANNINI¹, S. SIRRI¹, M. CUTULI²

Le pesche stony-hard: lunga tenuta sull'albero e resistenza alle manipolazioni

¹ Consiglio per la ricerca in agricoltura e l'analisi dell'economia, Centro per l'Olivicoltura, l'Agrumicoltura e la Frutticoltura, Forlì

² Consiglio per la ricerca in agricoltura e l'analisi dell'economia, Centro per l'Olivicoltura, l'Agrumicoltura e la Frutticoltura, Roma

Pesche e nettarine sono frutti climaterici, caratterizzati cioè da un incremento significativo della produzione di etilene nella fase finale del ciclo di sviluppo del frutto. L'emissione di etilene induce numerosi processi relativi alla maturazione del frutto (Tonutti et al., 1991), tra cui la formazione degli aromi, la riduzione dell'astringenza e la perdita progressiva di consistenza della polpa, che in pochi giorni diventa così tenera da non essere più idonea alle manipolazioni durante la raccolta e nelle fasi successive. Per la brevità della vita commerciale di pesche e nettarine mature, sovente i produttori sono spinti ad anticipare la raccolta rispetto allo stadio di maturazione ottimale del frutto, pregiudicandone di fatto la piena espressione qualitativa al momento del consumo. Il prolungamento della durata di vita del frutto sull'albero e in post-raccolta è un obiettivo attuale e relevantissimo in tutti i programmi internazionali di *breeding* su pesco. Al CREA, progressi significativi in tal senso sono stati ottenuti con l'introduzione di varietà di origine orientale portatrici del carattere stony-hard (SH), controllato da un singolo gene recessivo (Yoshida, 1976). I frutti SH hanno caratteristiche assolutamente peculiari e innovative: all'assaggio, la polpa è molto soda, croccante quasi come una mela. Dal punto di vista fisiologico, i frutti non producono etilene (Haji, 2005) e hanno una lunga tenuta della polpa sia sull'albero che dopo la raccolta (Liverani et al., 2015). A partire dagli anni '90, il CREA ha eseguito numerosi incroci controllati per sviluppare genotipi SH più adatti agli ambienti peschicoli italiani del centro-nord e migliorativi per caratteristiche estetiche e organolettiche rispetto ai parentali SH impiegati nella fase iniziale del programma. La selezione dei genotipi portatori del carattere SH è stata agevolata negli anni dall'impiego di strumenti per la misurazione della produzione di etilene (Ethylene SPY ES100 instrument, Milano) e, più di



Fig. 1 Frutti 'stony hard' del breeding CREA: a sinistra, frutti totalmente privi di antociani della serie Ghiaccio; al centro, frutti di una pesca a polpa bianca della serie 'Pink'; a destra, frutti di una selezione a polpa gialla con buccia estesamente colorata

recente, dallo sviluppo di un marker molecolare utile alla selezione precoce assistita delle progenie (Cirilli et al., 2018).

Le prime varietà SH licenziate sono quelle della serie Ghiaccio (Nicotra et al., 2003), caratterizzate da sapore dolce e buccia e polpa color crema del tutto priva di antociani (fig. 1). Questa linea non ha avuto il successo sperato in quanto l'aspetto esteriore ha fortemente penalizzato il prodotto; questo infatti, nonostante l'ottimo sapore e serbevolezza, non risulta molto attraente per il consumatore che nella scelta della frutta è molto orientato verso quella a buccia molto colorata. Le selezioni SH più recenti e promettenti - pesche a polpa gialla e bianca - sono caratterizzate da una colorazione più estesa della buccia, che va dal rosa diffuso (linea 'Pink') al rosso intenso e completo (fig. 1); alla maturazione, i frutti hanno polpa croccante e molto dolce, sia per l'elevato contenuto di solidi solubili (da 15 a 20 °Brix) che per la bassa acidità titolabile (da 35÷70 meq l⁻¹). Tutte le selezioni sono caratterizzate da portamento aperto e vigore dell'albero medio, elevata fertilità e periodo di fioritura da tardivo a molto tardivo; il periodo di maturazione è compreso tra gli inizi di luglio e la prima metà di settembre. Prove effettuate su diverse selezioni promettenti hanno evidenziato come il mantenimento prolungato di valori di consistenza elevata del frutto maturo sull'albero consenta una finestra di raccolta non inferiore alle 3 settimane (Liverani et al., 2017). I vantaggi che il prodotto SH offre al produttore rispetto alle tipologie di pesche e nettarine in commercio sono numerosi: maggiore flessibilità nelle tempistiche di raccolta, possibilità di raccogliere il prodotto ad uno stadio di maturazione più avanzato e quindi dalle caratteristiche organolettiche ottimali, possibilità di concentrare la raccolta e di coprire un ampio calendario di maturazione con poche cultivar.

BIBLIOGRAFIA

- CIRILLI M., GIOVANNINI D., CIACCIULLI A., CHIOZZOTTO R., GATTOLIN S., ROSSINI L., LIVERANI A., BASSI D. (2018): *Integrative genomics approaches validate PpYUC11-like as candidate gene for the stony hard trait in peach (P. persica L. Batsch)*, «BMC Plant Biology», 18, 88.
- LIVERANI A., BRANDI F., QUACQUARELLI I., SIRRI S., GIOVANNINI D. (2017): *Advanced stony-hard peach and nectarine selections from CREA-FRF breeding program*, «Acta Hort.», 1172, pp. 2019-2024.
- NICOTRA A. E CONTE L. (2003): *Nuove tipologie di frutto per il mercato delle pesche: nascono la serie "Ufo" e "Ghiaccio"*, «Rivista di Frutticoltura», 7-8, pp. 20-25.
- PAN L., ZENG W., NIU L., LU Z., LIU H., CUI G. ET AL. (2015): *PpYUC11, a strong candidate gene for the stony hard phenotype in peach (Prunus persica L. Batsch), participates in IAA biosynthesis during fruit ripening*, «J Exp Bot.»;66, pp. 7031-44.
- TONUTTI P., CASSON P. AND RAMINA A. (1991): *Ethylene biosynthesis during peach fruit development*, «J. Am. Soc. Hortic. Sci.», 116, pp. 274-279.
- YOSHIDA M. (1976): *Genetical studies on the fruit quality of peach varieties. III. Texture and keeping quality*, «Bulletin of the Fruit Tree Research Station», 3, pp. 1-16.

D. GIOVANNINI¹, S. SIRRI¹, M. L. MALTONI¹

Pesche e nettarine a polpa rossa: un'innovazione ricca di antiossidanti

¹ Consiglio per la ricerca in agricoltura e l'analisi dell'economia, Centro per l'Olivicoltura, l'Agrumicoltura e la Frutticoltura, Forlì

L'esistenza in Italia di popolazioni varietali di pesche dalla polpa rosso-vinosa, conosciute anche come pesche sanguigne, è documentata già nel XVI secolo (Della Porta, 1583). Di questo germoplasma sono rimaste oggi poche varietà, alcune salvaguardate nelle collezioni di germoplasma frutticolo del CREA (Liverani e Giovannini, 2016). Dal punto di vista merceologico questo materiale è di scarso interesse, per il modesto aspetto esteriore del frutto, la polpa delicata e molto sensibile alle manipolazioni, il sapore acidulo e astringente, talora con retrogusto amaro; la polpa ricca di antociani, d'altra parte, fa sì che il materiale tradizionale a polpa sanguigna sia molto promettente per azioni di *breeding* finalizzate alla creazione di nuove tipologie di pesche e nettarine ricche di composti antiossidanti. Con l'obiettivo di coniugare la peculiarità delle pesche sanguigne tradizionali con le caratteristiche estetiche, gustative e merceologiche delle moderne cultivar di pesche e nettarine, il CREA di Forlì ha avviato, nella metà degli anni '90, un programma di incroci controllati utilizzando, come fonte del carattere polpa sanguigna, due accessioni rinvenute in Veneto (codificate 'R761', '46155 N 94'), la varietà 'Pillar italiano', e le vecchie varietà italiane 'Sanguinella' e 'Sanguigna di Savoia'. Più di recente, sono stati usati come parentali anche alcuni genotipi ottenuti dal seme di frutti a polpa rossa acquistati al supermarket (probabili frutti di Nectavigne®). La polpa sanguigna nelle progenie CREA dipende da un unico gene recessivo (bf/bf, Werner et al., 1998), che conferisce alla polpa una colorazione rosso-vinosa visibile già nella fase di indurimento del nocciolo, inizialmente circoscritta alla zona sottostante la buccia ma che successivamente si estende al resto del frutto lasciando in genere poco colorata la zona intorno al nocciolo (fig. 1).

Dall'inizio del programma sono state realizzate 52 diverse combinazioni d'incrocio, ottenuti e valutati in campo 3,123 semenzali. Quelli



Fig.1 Il carattere sanguigno è già visibile nel frutto all'inizio della fase indurimento del nocciolo (prime due foto da sinistra); frutti selezioni di pesche e nectarine a polpa sanguigna del programma di breeding CREA (le altre foto)

promossi al secondo livello di valutazione sono stati innestati su GF677 e inseriti in una prova di *testing* varietale, allo scopo di valutarne la performance vegeto-produttiva a confronto con le principali cultivar attualmente in commercio. Ad oggi, sono in valutazione 4 selezioni di pesche e 10 di nectarine sanguigne che presentano caratteristiche pomologiche migliorate (buona tenuta alle manipolazioni, assenza di astringenza e sapore amaro) rispetto ai parentali sanguigni impiegati all'inizio del programma. Le selezioni di nectarine hanno generalmente polpa aromatica e mediamente soda, e valori elevati di solidi solubili (da 15 a 20 °Brix) e di acidità titolabile (da 120÷180 meq l⁻¹), ma tre di queste sono dotate del carattere 'stony-hard' (sh/sh, Yoshida, 1976), che conferisce al frutto polpa soda e croccante, e gusto molto dolce per la presenza del carattere bassa acidità (D/-, Monet, 1979). Le selezioni di pesche sono caratterizzate da polpa non fondente (tipo percoca), buona consistenza e sapore equilibrato (da 12 a 15 °Brix e da 100 a 120 meq l⁻¹ di acidità titolabile). Sia le pesche che le nectarine sono caratterizzate da vigoria dell'albero equilibrata, elevata fertilità e periodo di fioritura medio-tardivo; il periodo di maturazione si estende da metà luglio alla fine di agosto.

Con la sola eccezione della serie francese Nectavigne®, pesche e nectarine a polpa rossa non sono oggi presenti sul mercato, il che rende le selezioni avanzate del programma di *breeding* del CREA di Forlì un'indubbia innovazione di prodotto. Uno studio effettuato su alcune selezioni avanzate ha evidenziato che i frutti a polpa sanguigna sono caratterizzati da valori di polifenoli totali (TPH) e di capacità antiossidante totale (TEAC) nella polpa da 2 a 3 volte più elevati rispetto a pesche e nectarine non sanguigne (Liverani et al., 2015). Per uno sfruttamento commerciale efficace di questo nuovo tipo di prodotto è fondamentale informare adeguatamente il consumatore sui benefici organolettici, nutrizionali e salutistici di questi frutti ricchi di antociani.

BIBLIOGRAFIA

- DELLA PORTA G.B. (1583): *Io. Baptistae Portae Neapolitani Suae Villae. Pomarium*, 315 pp., Horatium Saluianum, [et] Caesarem Caesaris Eds., Napoli.
- LIVERANI A., BRANDI F., QUACQUARELLI I., SIRRI S. AND GIOVANNINI D. (2015): *Superior Taste and Keeping Quality are Steady Goals of the Peach Breeding Activity at CRA-FRF, Italy*, «Acta Horticulturae», 1084, pp. 179-185, <<https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2015.1084.24>>.
- LIVERANI A. E GIOVANNINI D. (2016): *Pesco*, in *Atlante dei fruttiferi autoctoni italiani*, vol II, Fideghelli C. Coordinatore, MiPaaf-Crea. Roma.
- MONET R. (1979): *Transmission Génétique du Caractère 'Fruit Doux' Chez le Pêcher. Incidence sur la Sélection pour la Qualité*, in *Proceedings of Eucarpia Fruit Section Symposium*, INRA, Angers, France, pp. 273-276.
- WERNER D.J., CRELLER M.A., CHAPARRO J.X. (1998): *Inheritance of blood flesh in peach*, «HortScience», 33, pp. 1243-1246.
- YOSHIDA M. (1976): *Genetical studies on the fruit quality of peach varieties. III. Texture and keeping quality*, «Bulletin of the Fruit Tree Research Station», 3, pp. 1-16.

A. POLVERARI¹, E. VANDELLE¹

Identificazione di composti non battericidi ad azione inibitoria sulla patogenicità dell'agente del cancro batterico del kiwi, *Pseudomonas syringae* pv. *actinidiae*

¹ Dipartimento di Biotecnologie, Università degli Studi di Verona

Numerose specie e *pathovars* batteriche del genere *Pseudomonas* sono causa di gravi malattie in diverse piante e colture agrarie. Tra questi, *Pseudomonas syringae* pv. *actinidiae*, agente del cancro batterico del kiwi, è causa di gravi danni alla produzione. Le maggiori aree di coltivazione a livello globale hanno infatti già subito due gravi ondate epidemiche di questo patogeno.

Le misure di controllo disponibili si limitano ad azioni preventive, raramente efficaci, e a trattamenti con composti a base di rame, agenti di biocontrollo o sostanze naturali, che sono però raramente risolutivi. Inoltre, i composti del rame sono attualmente oggetto di potenziale revisione e già presenti nella lista delle sostanze “candidate alla sostituzione” definita dalla UE, in quanto si accumulano nei suoli e favoriscono la possibile comparsa di ceppi batterici patogeni resistenti al rame, come conseguenza della massiccia pressione selettiva operata dai numerosi trattamenti.

Recentemente, l'interesse della ricerca si sta rivolgendo sempre più alla possibilità di sviluppare strategie di difesa alternative, mantenendo la massima attenzione alla tutela dell'ambiente. In particolare, strategie di interferenza con i meccanismi della patogenicità batterica che non uccidono il patogeno ma riducono solo la sua capacità di aggressione, permetterebbero di controllare le malattie, evitando nel contempo la pressione selettiva verso l'evoluzione di ceppi resistenti.

La patogenicità batterica è nella maggior parte dei casi essenzialmente dipendente dalla funzionalità del sistema secretorio di tipo III (Type III Secretion System o TTSS), codificato da geni *hrp* (*hypersensitive reaction and pathogenicity*). Il TTSS è assemblato all'interfaccia tra il batterio e la pianta, in seguito alla percezione di segnali ancora poco noti, e presiede alla traslocazione nella cellula vegetale di effettori che promuovono la virulenza batterica interferendo con il metabolismo cellulare.

Il gene *hrpA1*, in particolare, codifica una proteina secreta detta *helper*, essenziale all'assemblaggio del TTSS. Nell'approccio qui presentato, il monitoraggio dell'attivazione del promotore del gene *hrpA1* di *Pseudomonas syringae* pv. *actinidiae* è stato impiegato per selezionare all'interno di una libreria chimica di 502 molecole di origine naturale (Enzo Life Sciences, Inc. NY, USA), i composti potenzialmente in grado di inibire l'attivazione del TTSS. Lo screening è stato condotto con un metodo ad alta processività, utilizzando un ceppo di Psa (CRAFRU8.43) che esprime la proteina fluorescente GFP sotto il controllo del promotore del gene *hrpA1*. Il metodo, già pubblicato¹, ha portato all'identificazione e validazione di una lista di molecole inibitorie del promotore di *hrpA1*, successivamente incluse in una richiesta di brevetto nazionale, accolto nel 2020². Le stesse molecole sono state anche valutate per escludere la loro eventuale attività battericida o batteriostatica.

L'effettiva capacità di inibire l'attivazione del TTSS è stata successivamente valutata in un sistema semplificato di patogenesi batterica, andando a misurare il rilascio di elettroliti da tessuti fogliari di *Arabidopsis thaliana* in corso di risposta ipersensibile, trattati o non trattati con una delle molecole selezionate, dopo infezione con un ceppo avirulento di *P. syringae* pv. *actinidiae* esprimente l'effettore *AvrB*. I risultati hanno indicato, in particolare, la molecola dicumarolo come potenziale inibitore della patogenicità batterica, in grado di ridurre del 30% circa il rilascio di elettroliti rispetto al controllo.

L'invenzione apre la possibilità di impiegare questi composti in formulazioni di prodotti fitosanitari innovativi, che agiscano per inibizione della virulenza batterica, e comprende la possibilità di impiegare le sostanze attive formulate in nano-strutture, quali nano-emulsioni o nanoparticelle *biobased*.

¹ E. VANDELLE, M.R. PUTTILLI, A. CHINI, G. DEVESCOVI, V. VENTURI, A. POLVERARI, *Application of Chemical Genomics to Plant-Bacteria Communication: A High-Throughput System to Identify Novel Molecules Modulating the Induction of Bacterial Virulence Genes by Plant Signals*, «Methods Mol Biol.», 2017, 1610, pp. 297-314.

² Brevetto N. 102017000119674 Ministero dello Sviluppo Economico – Titolari: Regione del Veneto e Università degli Studi di Verona.

B. MEZZETTI¹, F. CAPOCASA¹

Nuove varietà di fragola rilasciate dal programma di miglioramento genetico fragola attivo presso il Dipartimento di scienze agrarie, alimentari ed ambientali – Università Politecnica delle Marche – Ancona

¹ Dipartimento di Scienze Agrarie, Alimentari ed Ambientali, Università Politecnica delle Marche

Il programma di miglioramento genetico fragola del D3A-UNIVPM, avviato nel 1993 dal prof. Pasquale Rosati, ha portato al rilascio di diverse varietà (Adria, Sveva, Cristina e Romina) che hanno avuto diffusione commerciale in diversi paesi europei e non (Canada e USA per Romina e Cristina). Il programma di miglioramento genetico prevede incroci intra-specifici (*Fragaria x ananassa*), tra varietà coltivate e germoplasma, e inter-specifici con specie selvatiche (*F. virginiana* e *F. chiloensis*) e include un lungo programma di reincroci. Il programma è stato avviato con l'obiettivo principale di ottenere nuove cultivar resilienti con elevate qualità sensoriali e nutrizionali, adatte agli ambienti temperato-freddi. Recentemente è stato avviato un programma anche per la selezione di nuove varietà per gli ambienti sud temperato caldi e subtropicali. La valutazione delle selezioni più interessanti viene effettuata con piante frigo-conservate e cime radicate, coltivate in pieno campo, su terreno argilloso e con elevato calcare attivo, non fumigato, con breve rotazione (3-anni).

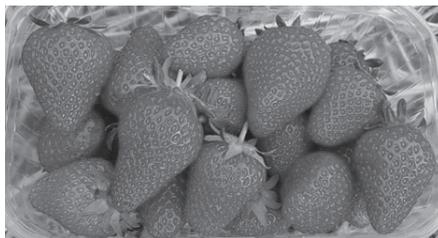
Queste condizioni di selezione permettono di identificare piante di elevata rusticità e resistenza alle principali malattie del suolo. Il rilascio delle nuove varietà avviene dopo una verifica sperimentale in diverse stazioni sperimentali localizzate in centro-nord Europa, per le selezioni adatte a climi temperati caldi, e in sud Italia (Basilicata) e nell'area mediterranea (Spagna, Grecia, Marocco e Algeria) per le selezioni più interessanti per gli ambienti temperati caldi subtropicali.

NUOVE VARIETÀ DI FRAGOLA DI ELEVATA QUALITÀ
PER AMBIENTI TEMPERATO-FREDDI

‘Francesca’, ‘Laura’ and ‘Silvia’ tre nuove cultivar di fragola unifere, dal programma di miglioramento genetico dell’Università Politecnica delle Marche (Ancona, IT), di particolare interesse per gli ambienti di coltivazione temperati e temperato-freddi, con epoca di maturazione molto precoce (‘Francesca’), medio precoce (‘Laura’) e tardiva (‘Silvia’).

FRANCESCA (AN10,42,51) –
CPVO: 2019 2656 31/10/2019 *Fragaria* × *ananassa* Duchesne ex Rozie

Nuova varietà di fragola unifera a maturazione molto precoce (matura nella stessa epoca della cv. Flair), con buon fabbisogno in freddo. Pianta rustica, selezionata in suolo non fumigato, di medio vigore e produzione medio-elevata. Il frutto è di forma conico allungata, regolare, di media pezzatura di colore rosso brillante e di media consistenza. Frutto di elevata qualità organolettica, per il buon contenuto in zuccheri e l’acidità medio-elevata, e nutrizionale (capacità antiossidante dei frutti e contenuto in polifenoli). La shelf-life è buona.



LAURETTA (AN10,08,51) CPVO:
2019 2654 31/10/2019 *Fragaria* × *ananassa* Duchesne ex Rozier

Nuova varietà di fragola unifera a maturazione medio-precoce (+ 2 giorni rispetto ad Asia), con buon fabbisogno in freddo. Pianta di elevata rusticità, selezionata in condi-



zione di terreno non fumigato, mediamente produttiva, resistente alle principali malattie. Il frutto è di forma conico regolare, di media pezzatura, di colore rosso brillante e di consistenza medio-elevata. Frutto con qualità organolettica molto elevata, per l’elevato contenuto zuccherino (in media 8°Brix ma può superare facilmente i 9° Brix in alcuni sistemi di coltivazione), ben bilanciato da un’acidità medio-elevata. Facile da raccogliere, buona shelf-life.

SILVIA (AN10,16,51) CPVO: 2019 2657
31/10/2019 *Fragaria* × *ananassa* Duchesne
ex Rozier

Nuova varietà di fragola unifera a maturazione tardiva (+ 8 Asia) con elevato fabbisogno in freddo. Pianta di elevata rusticità, selezionata in condizione di terreno non fumigato, con media densità del fogliame e medio-elevata produttività. Il frutto è di forma conico-corta, regolare, con colorazione rosso intensa e buona consistenza. Il sapore del frutto è medio, con medio contenuto in zuccheri e acidità titolabile. Buona shelf-life.



NUOVA VARIETÀ DI FRAGOLA DI ELEVATA QUALITÀ
PER AMBIENTI TEMPERATO-CALDI E SUBTROPICALI

DINA (AN14,21,61) CPVO: 2019
2655 31/10/2019 *Fragaria* × *ananassa*
Duchesne ex Rozier)

‘DINA’ è una nuova varietà di fragola unifera del programma di miglioramento genetico dell’Università Politecnica delle Marche (Ancona, IT), di elevato interesse per gli ambienti di coltivazione temperato caldi e subtropicali, con epoca di maturazione molto precoce. La nuova varietà è caratterizzata da una pianta di elevata resilienza e buona qualità del frutto.

Nuova varietà unifera a maturazione molto precoce (periodo F. Fortuna), con basso fabbisogno in freddo. Pianta selezionata in suolo non fumigato, di elevata rusticità (è stata osservata tolleranza a Nematodi ed Oidio), vigore medio. La pianta presenta un habitus rado con frutti ben esposti che consente una elevata efficienza della raccolta ed elevata produttività.



VARIETÀ	INDICE DI PRECOCITÀ (IP)	PESO MEDIO FRUTTO (G)	PRODUZIONE COMMERCIALE (G/PIANTA)	SOLIDI SOLUBILI (°BRIX)	ACIDITÀ TITOLABILE (MEQNAOH/100G)	DUREZZA (G)
FRANCESCA	131	20,7	752	7,8	10,5	306
ROMINA	132	19,5	664	8,4	8,4	414
LAURA	141	20,8	512	8,3	10,4	366
SILVIA	149	26,4	831	6,9	13,2	308
CRISTINA	156	31,9	874	7,5	10,7	277

Produttività e qualità del frutto (dati medi di 2 anni – campo sperimentale di Ancona) delle tre nuove varietà a confronto con Romina e Cristina, le ultime due varietà rilasciate dal programma di breeding dell'UNIVPM

Il frutto è di forma conica, regolare, di media pezzatura e colore rosso brillante. La durezza del frutto è molto elevata. Il sapore è medio con buon equilibrio tra solidi solubili (zuccheri) ed acidità titolabile. Buona shelf-life.

L. FRUSCIANTE¹, G. BILE²

Innovazione di prodotto: i nuovi ibridi di pomodoro da industria costituiti in Italia

¹ Professore emerito di genetica agraria, Università degli studi di Napoli “Federico II”

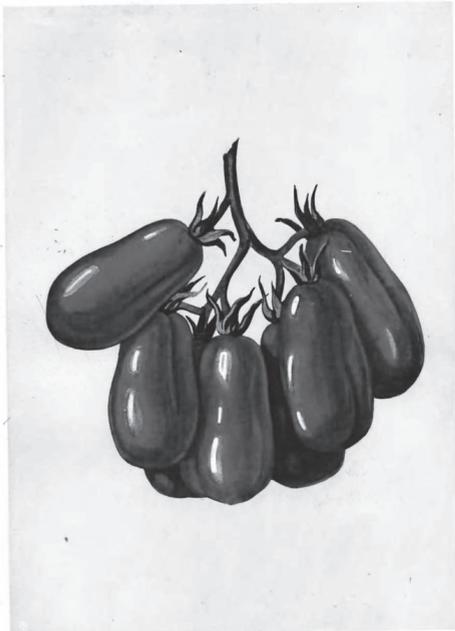
² Tomato Breeding Team Lead, Italy, Bayer Crop Science

IL MIGLIORAMENTO GENETICO DEL POMODORO DA PELATI IN ITALIA

L'affermazione della coltivazione del pomodoro in Italia ha determinato la nascita delle prime aziende sementiere che diedero avvio ai primi programmi di selezione sull'intero territorio nazionale. La collaborazione sempre più proficua tra agricoltori e sementieri consentì l'identificazione dei tipi più idonei alle diverse destinazioni d'uso; ebbe così inizio un sistematico processo di selezione di ecotipi locali di pomodoro. Oggi l'Italia vanta oltre 600 ecotipi, coltivati nei vari areali del nostro paese. Questi ultimi differiscono per le tecniche agronomiche adottate e per la destinazione d'uso del prodotto. La selezione degli ecotipi ha contribuito allo sviluppo di interi comprensori agricoli portando, in alcuni casi, a vere e proprie rivoluzioni industriali. Al nord si affermarono industrie per la produzione di conserve e concentrati (es. Mutti), al sud quelle per la produzione dei pelati (es. Cirio). L'industria conserviera influenzò la selezione degli ecotipi di pomodoro, che dovevano essere funzionali alle esigenze produttive, e rafforzò la cooperazione tra agricoltori, conservieri e sementieri nel nostro paese. Nel centro-nord la selezione privilegiò le tipologie oblunghe-rotonde con elevato residuo secco, mentre al sud furono preferite le tipologie allungate e ciliegine che presentavano un buon rapporto tra concentrazione di zuccheri ed acidità. La grande rivoluzione si realizzò con l'introduzione della coltivazione del San Marzano (fig 1) in Campania che stravolse i sistemi produttivi agricoli e industriali, incrementando enormemente la produzione dei pomodori pelati. I risultati produttivi spinsero gli addetti ai lavori ad avviare programmi mirati di miglioramento genetico in modo particolare per il San Marzano. Oltre a ricorrere alla selezione massale, si diede avvio anche alla selezione per linea pura, sfruttando popolazioni segreganti ottenute da incroci casuali.

L'ITALIA AGRICOLA

(Proprietà riservata)



Pomodoro di S. Marzano

VARIETÀ PER LA PREPARAZIONE DEI PELATI.

L'industria dei pelati (1) ha assunto notevole importanza in seguito alla crescente esportazione ed è specialmente sviluppata nella Campania. La varietà di pomodoro impiegata è conosciuta col nome di S. Marzano, chiamata anche *Lunga* dalla forma della bacca.

È estesamente coltivata nei comuni di Scafati, Angri, S. Marzano, Sarno, Pagani, Nocera Inferiore, Nocera Superiore, che formano l'Agro Nocerino. La sua coltura si va estendendo anche altrove nell'Italia meridionale e comincia ad essere introdotta nell'Italia settentrionale. Il frutto è quasi cilindrico allungato, con due depressioni laterali parallele longitudinali, quasi a forma di parallelepipedo a base rettangolare con l'apice leggermente arrotondato, lungo da cm. 5 a cm. 7 e con diametro di cm. 2-3.

(1) È parola impropria che significa pomodoro a cui fu tolta la buccia in seguito a leggera scottatura. Si dovrebbe dire invece sbucciati o spelati, ma ormai nell'industria e nel commercio questi pomodori conservati sono conosciuti con tale denominazione che conviene mantenere anche se linguisticamente inesatta.

Fig. 1 Descrizione del pomodoro S. Marzano, «L'Italia Agricola», anno XLIX, 1912

Gli obiettivi dei programmi di miglioramento genetico in pomodoro erano volti a identificare genotipi idonei a soddisfare sia le esigenze degli agricoltori (maggiori rese per ettaro), sia quelle dell'industria (migliore resa alla trasformazione). Nella seconda metà del secolo scorso ebbe inizio la grande attività di miglioramento genetico volta ad ampliare la variabilità genetica attraverso incroci inter- e intra-specifici. In quegli anni furono trasferiti in nuovi genotipi, geni legati al portamento della pianta (*sp*, *du*, *j1*, *j2*) e al colore della bacca (*u*, *ogc*, *hp*). L'uso di questi nuovi genotipi determinò anche l'introduzione della raccolta meccanica. La coltivazione del pomodoro in Italia era diventata sempre più importante e l'industria delle conserve era in continua crescita dato il monopolio per la produzione dei pelati. Questo contesto favorevole indusse la Petoseed Co.Inc. (oggi gruppo Bayer), una delle più importanti multinazionali dell'epoca, a investire in Italia. La Petoseed cominciò con lo sviluppare varietà OP (Open-Pollined) a frutto allungato su pianta determinata, immediatamente accettate dalle industrie di trasformazione per l'ottima qualità organolettica e tecnologica (pelabilità) dei frutti.

In seguito, furono sviluppate le prime varietà ibride, che sfruttavano l'effetto eterotico, per la produzione di pomodori pelati.

Il successo delle varietà ibride di pomodoro, specie autogama, andò oltre ogni più rosea previsione, tanto che la Petoseed si decise a istituire un centro di ricerca anche in Italia, nei pressi di Latina, per avviare un programma di ricerca, finalizzato a soddisfare le esigenze del mercato locale e più in generale di quello del Mediterraneo. Alcuni degli ibridi costituiti a Latina hanno rivoluzionato il panorama varietale dei pelati e sono riportati nelle schede allegate (schede 1-4).

In questi ultimi anni altre ditte sementiere italiane (La Semiorio Sementi, la ISI Sementi.) hanno attivato programmi di breeding in pomodoro ottenendo risultati soddisfacenti. In modo particolare il programma della ISI sementi ha dato degli ottimi risultati i suoi ibridi, infatti, hanno ottenuto un grande successo (schede 5-7).

IBRIDI COSTITUITI DAL GRUPPO BAYER (EX PETOSEED CO. INC.)
NELL'AMBITO DI PROGRAMMI ITALIANI DI MIGLIORAMENTO GENETICO
DEL POMODORO DA PELATO

DOCET

- Pianta di media vigoria e ciclo medio precoce, caratterizzata da internodi corti ed elevata potenzialità produttiva, con ottima allegagione
- Bacche allungate del peso di 75-85g con carattere *jointless*
- Eccellente concentrazione di maturazione, ottima consistenza e tenuta in campo
- Eccellente colore e qualità dei frutti (caratteristiche nutrizionali-organolettiche), facile pelabilità
- Ciclo colturale: trapianto da metà aprile a tutto maggio; raccolta da fine luglio a metà settembre.

Resistenze genetiche:

Tomato Spotted Wilt Virus; *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici* razza 0; *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici* razza 1; *Verticillium albo-atrum*/*Verticillium dahliae* razza 0; *Pseudomonas syringae* pv. *tomato* razza 0.

Il Docet è in assoluto l'ibrido più di successo nel mercato del pelato, in quanto soddisfa in pieno sia le esigenze degli agricoltori (produttività in primis), sia quelle delle industrie di trasformazione (qualità delle bacche).



HERDON

- Pianta coprente, rustica, di media vigoria, a ciclo medio precoce
- Apparato radicale profondo
- Bacche allungate e uniformi del peso di 90-95g di colore rosso vivo e con carattere jointed
- Ottima pelabilità; la maggiore pezzatura lo rende adatto anche all'essiccazione al sole
- Buona la consistenza del frutto e la tenuta alla sovraturazione
- Ciclo colturale: trapianti consigliati da metà aprile a tutto maggio; raccolta da fine luglio a settembre.

Resistenze genetiche:

Tomato Spotted Wilt Virus; *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici* razza 0; *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici* razza 1; *Verticillium albo-atrum*/*Verticillium dahliae* razza 0; *Meloidogyne incognita/arenaria/javanica*.

Herdon è un ibrido, nato dalla collaborazione con la ricerca californiana, caratterizzato da alta resa per ettaro e da una buona pezzatura dei frutti che lo rende adatto anche al mercato dell'essiccato al sole e del consumo fresco.



Scheda 2

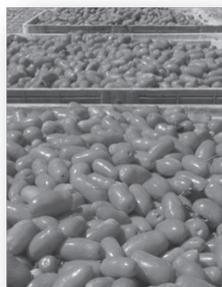
EVENTUS

- Pianta coprente, rustica, di media-alta vigoria, a ciclo medio precoce e con buona concentrazione di maturazione
- Bacche allungate ed uniformi del peso di 80-90g con carattere *jointless*
- Ottima pelabilità e ridotto fittone interno; adatto anche all'essiccazione al sole
- Buona la consistenza del frutto, che ne facilita la raccolta meccanizzata
- Ciclo colturale: leggermente più lungo del Docet, con trapianti consigliati da metà aprile a tutto maggio; raccolta da fine luglio a tutto settembre

Resistenze genetiche:

Tomato Spotted Wilt Virus; *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici* razza 0; *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici* razza 1; *Verticillium albo-atrum*/*Verticillium dahliae* razza 0; *Alternaria alternata*; *Pseudomonas syringae* pv. *tomato* razza 0; *Phytophthora infestans*; *Meloidogyne incognita/arenaria/javanica*.

Eventus, oltre a soddisfare in pieno le esigenze degli agricoltori (produttività in primis), e delle industrie di trasformazione (qualità delle bacche), è preferito nei programmi di agricoltura biologica, grazie al pacchetto di resistenze genetiche, tra cui quella alla peronospora.



Scheda 3

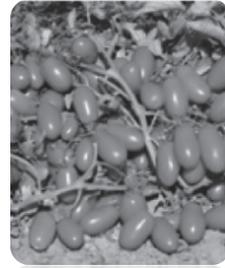
SV5197TP

- Pianta coprente, rustica, di media vigoria, a ciclo medio precoce e con buona concentrazione di maturazione
- Apparato radicale profondo
- Veloce capacità di crescita dopo il trapianto in campo
- Bacche allungate e uniformi del peso di 80-85g di colore rosso vivo e con carattere *jointless*
- Ottima pelabilità e ridotto fittone interno
- Buona la consistenza del frutto e la tenuta alla sovrarmaturazione
- Ciclo colturale: trapianti consigliati da metà aprile a tutto maggio; raccolta da fine luglio a tutto settembre.

Resistenze genetiche:

Tomato Spotted Wilt Virus; *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici* razza 0; *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici* razza 1; *Verticillium albo-atrum*/*Verticillium dahliae* razza 0; *Pseudomonas syringae* pv. *tomato* razza 0.

SV5197TP è la varietà resistente a TSWV per il segmento del precoce, con un'ottima copertura fogliare, che, grazie alla sua rapida capacità di crescita, ben si adatta ad inizio campagna.



Scheda 4

IBRIDI COSTITUITI DALL'AZIENDA ISI SEMENTI NELL'AMBITO
DI PROGRAMMI ITALIANI DI MIGLIORAMENTO GENETICO
DEL POMODORO DA PELATO

MARINER

- Pianta compatta, ben coperta, sana e molto produttiva
- I frutti, slanciati e uniformi, hanno un peso medio di circa 80 g
- Il colore è rosso intenso e la consistenza elevata
- Ottimo per la preparazione industriale di pelati e cubettati
- Ciclo colturale: trapianto da fine aprile a fine maggio; raccolta dai primi di agosto a metà settembre.



Resistenze genetiche:

(HR) TSWV:0/Pst:0/Fol:0,1/Va:0/Vd:0; (IR) Ma/Mi/Mj

MARINER è un ibrido molto affidabile consigliato per la produzione di pelati di alta qualità e dalla forma slanciata tipica della tradizione italiana.

Scheda 5

NOVAK

- La pianta ha buona produttività e medie dimensioni
- Frutto allungato, di dimensione contenute, del peso di 50-55g
- I frutti presentano buona consistenza, colore rosso acceso e sapore elevato
- Ideale per la produzione di pelati di alta qualità in piccolo formato
- Ciclo colturale: trapianto da fine aprile a fine maggio; raccolta da metà luglio a fine agosto



Resistenze genetiche:

(HR) TSWV:0/ Pst:0/ Fol:0/Va:0/Vd:0

NOVAK risponde alle esigenze delle industrie che necessitano un prodotto di dimensioni contenute e alta qualità per la preparazione dei pelati in piccolo formato.

Scheda 6

PERFORMER

- La pianta di buon vigore è sana, rustica e molto produttiva
- Frutto allungato del peso di 80-90g
- Il frutto, di alta qualità, presenta colore rosso intenso, elevato spessore della polpa e ottima consistenza
- Ideale per la produzione di pelati, cubettati, l'utilizzo da mercato fresco e la produzione di pomodoro spaccato
- Presenta la resistenza ad entrambi i ceppi di Tomato Spotted Wilt Virus (TSWV:0-1)
- Ciclo colturale: trapianto da fine aprile a fine maggio; raccolta dai primi di agosto a metà settembre



Resistenze genetiche:

(HR) ToMV:0-2/TSWV:0/ Pst:0/ Fol:0/ Va:0/Vd:0
(IR) TSWV:1/ Ma/Mi/Mj

PERFORMER è un ibrido innovativo, per pelati di alta qualità, che presenta la resistenza ad entrambi i ceppi di Tomato Spotted Wilt Virus (TSWV:0-1).

Scheda 7

D. BASSI¹, S. FOSCHI², M. CIRILLI¹, L. ROSSINI¹

Valorizzazione delle risorse genetiche frutticole per qualità del frutto e la resistenza alle avversità. Costituzione di nuove cultivar di albicocco e pesco

¹ Università di Milano

² CRPV Cesena

Il programma di miglioramento varietale di albicocco e pesco (oggi noto come MAS.PES), iniziato presso l'Università di Bologna tra la fine degli anni '70 e gli inizi degli anni '90 del secolo scorso, ha vissuto una serie di cambiamenti, sfociati nell'attuale assetto, che risale al 2003. Da allora il programma è stato co-finanziato da vari soggetti, inizialmente pubblici (CNR, Ministeri, Regione Emilia-Romagna) e oggi solo privati (Organizzazioni dei Produttori e aziende vivaistiche) sotto la responsabilità scientifica dell'Università di Milano e il coordinamento del CRPV di Cesena.

Il progetto è mirato all'ottenimento di cultivar di albicocco e pesco per l'Italia settentrionale, valorizzando i caratteri di adattamento ambientale (costanza produttiva e resistenza alle minime termiche), qualità dei frutti e resistenza ad alcune malattie (come la virosi Sharka nell'albicocco e nel pesco, l'oidio ed i marciumi da moniliosi nei frutti di pesco).

Gli obiettivi specifici del programma di miglioramento mediante selezione assistita sono concordati con le OO.PP., al fine di rendere più efficiente l'ottenimento di gamme di cultivar di alto pregio. Il progetto integra tecniche tradizionali (effettuazione di incroci, allevamento in campo degli alberi e relativa selezione agronomico-pomologica) e tecniche di selezione su base genomica.

Le strategie tradizionali di miglioramento varietale seguono un protocollo collaudato. Innanzitutto occorre avere a disposizione una collezione varietale ben fornita, da utilizzare per introdurre caratteri che potrebbero essere non più presenti nello standard attuale (adattabilità a particolari condizioni ambientali, resistenze a malattie, peculiarità del frutto, ecc.).

In secondo luogo occorre ottenere popolazioni (da incroci controllati) sufficientemente ampie, così da assicurare la necessaria segregazione dei caratteri, condizione che assicura la creazione di genotipi di possibile interesse, vuoi per

l'introduzione commerciale diretta come novità varietali (dopo un opportuno periodo di valutazione, mai più breve di una decina di anni), vuoi da utilizzare come genitori per successivi incroci.

Il terzo punto è il lavoro di selezione vero e proprio. È a questo stadio che occorre mettere in atto criteri di valutazione, sia oggettivi, sia soggettivi.

I primi (criteri oggettivi) vengono utilizzati per la discriminazione di massima del materiale ottenuto nelle popolazioni da incrocio: tipologia varietale (es.: pesca /nettarina; colore della polpa, tipologia di albero, ecc.). Tra i caratteri oggettivi, solitamente verificati in laboratorio, ci sono quelli relativi ad alcune caratteristiche intrinseche del frutto, come i parametri chimico-fisici e l'attitudine alla conservazione frigorifera, oltre che la vita di scaffale (*shelf-life*).

Ben diversa però è l'individuazione (finale) di quel particolare genotipo che presenti tutti i caratteri necessari alla coltivazione e alla relativa diffusione commerciale; tale obiettivo può essere raggiunto solo attraverso la decisione (soggettiva) del costitutore, che tiene conto dell'insieme di tutti i caratteri necessari alla creazione di una nuova cultivar, obiettivo al momento non raggiungibile utilizzando solamente criteri oggettivi.

In definitiva, pur a fronte di sofisticati strumenti oggi utilizzabili per la selezione di genotipi innovativi, è ancora all'esperienza del costitutore che spetta la scelta decisiva nell'individuare le selezioni da proporre al settore produttivo. Quest'ultimo atto richiede inoltre una certa attitudine creativa, che rende l'attività del selezionatore molto simile a quella artistica, trattandosi di associare tra loro un grande numero di caratteri (qualitativi e quantitativi) per individuare un nuovo fenotipo, che si differenzi significativamente dalle cultivar già diffuse.

Le principali realizzazioni varietali, di interesse commerciale, sono visibili su: <http://www.maspes.org/>.

Gli autori di questa scheda sono disponibili a fornire, a eventuali interessati, informazioni circa le più significative caratteristiche agronomiche delle realizzazioni varietali indicate.

BIBLIOGRAFIA

- BASSI D., RIZZO M., DI TERLIZZI B. E SAVINO V. (2002): '*Bora*', *albicocca precoce*, «Riv. di Frutticoltura e di Ortofloricoltura», 3, pp. 70-71.
- BASSI D. E FOSCHI S. (2017): *Maissa, prima pesca piatta idonea a costituire un club commerciale?*, «Riv. Fruttic. Ortoflor.», 7-8, pp. 20-24.
- BASSI D., FOSCHI S. (2019): *Prisca, Leda e Boero: nuove varietà proposte dal progetto Mas. Pes*, «Rivista di Frutticoltura e di Ortofloricoltura», 5, pp. 54-56.

- BASSI D., FOSCHI S. AND CASTELLARI L. (2015): *New introductions from MAS.PES, an Italian fruit tree breeding program: 'Dulciva' nectarine and 'Pulchra' peach*, «Acta Hort.», 1084, pp. 153-158.
- BASSI D., FOSCHI S. AND RIZZO M. (2010): *Breeding apricot in northern Italy*, «Acta Hort.», 862, pp. 151-158.
- BASSI D., FOSCHI S., LAMA M. (2014): *Emma[®] e Gemma[®], nuove cultivar di albicocco per l'epoca medio-precoce*, «Riv. Fruttic. Ortoflor.», 5, pp. 36-38, ISSN 0392 954X.
- BASSI D., FOSCHI S., RIZZO M. E CASTELLARI L. (2010): *Progetto 'MAS.PES' per il miglioramento genetico del pesco: criteri di selezione e individuazione ideotipi di riferimento*, «Italus Hortus», 17 (5), pp. 60-62.
- BASSI D., RIZZO M. E FOSCHI S. (2009a): *Nuova serie di nettarine sub-acide per l'Emilia – Romagna*, Atti VI Convegno nazionale sulla peschicoltura meridionale (Caserta, 6-7.3.2008), pp. 56-58.
- BASSI D., RIZZO M. E FOSCHI S. (2009b): *Bordò, pesca precoce per l'Emilia – Romagna*, Atti VI Convegno nazionale sulla peschicoltura meridionale (Caserta, 6-7.3.2008), pp. 60-61.
- BASSI D., RIZZO M. E FOSCHI S. (2012): *Fulva, Iride e Nadia: nuove proposte per diversificare l'offerta*, «Riv. Frutt. Ortoflor.», 7-8, pp. 38-39.
- CIACCIULLI A., CHIOZZOTTO R., ATTANASIO G., CIRILLI M. AND BASSI D. (2017): *Identification of a melting type variant among peach (*P. persica* L. Batsch) fruit textures by a digital penetrometer*, «J. Texture Stud.», pp. 1-8.
- EDUARDO I., PACHECO I., CHIETERA G., BASSI D., POZZI C., VECCHIETTI A. E ROSSINI L. (2011): *QTL analysis of fruit quality traits in two peach intraspecific populations and importance of maturity date pleiotropic effect*, «Tree Genetics & Genomes», 7, pp. 323-335.
- FOSCHI S., BASSI D. E MISSERE D. (2010): *Rebus, nettarine gialle dolci e croccanti. Un'ampio calendario di maturazione*, «Frutticoltura», 5, pp. 92-93.
- GHIANI A., NEGRINI N., MORGUTTI S., BALDIN F., NOCITO F., SPINARDI A., MIGNANI I., BASSI D. E COCUCCHI M. (2011): *Melting of 'Big Top' nectarine fruit: some physiological, biochemical, and molecular aspects*, «J. Amer. Soc. Hort. Sci.», 136 (1), pp. 61-68.
- PACHECO I., BASSI D., EDUARDO I., PIRONA R., ROSSINI L. AND VECCHIETTI A. (2014): *QTL mapping for brown rot (*Monilinia fructigena*) tolerance in an intra-specific peach (*Prunus persica* L. Batsch) F1 progeny*, «Tree Genetics and Genome», DOI 10.1007/s11295-014-0756-7.
- RUIZ D., LAMBERT P., AUDERGERON J.M., DONDINI L., TARTARINI S., ADAMI M., GENNARI F., CERVELLATI C., DE FRANCESCHI P., SANSAVINI S., TESTOLIN R., BUREAU S., GOUBLE B., REICH M., RENARD C.M.G.C. E BASSI D. (2010): *Identification of QTLs for fruit quality traits in apricot*, «Acta Hort.», 862, pp. 587-592.
- TATARANNI G., SPADA A., POZZI C. E BASSI D. (2010): *AFLP-based bulk segregant analysis for tagging the slow-ripening trait in peach [*Prunus persica* (L.) Batsch]*, «Journal of Horticultural Science & Biotechnology», 85 (1), pp. 78-82.

C. GRASSI¹, M. MANCINI², S. ORLANDINI¹

Monitoraggio ambientale e l'apicoltura di precisione

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

² Fondazione per il Clima e la Sostenibilità

Negli ultimi anni l'apicoltura, un settore essenziale dell'agricoltura, sta acquisendo sempre più attenzione sia a livello nazionale che internazionale, a seguito della crescente consapevolezza del ruolo che gli impollinatori hanno nel mantenimento della biodiversità e della sicurezza alimentare. Tuttavia, a richiamare attenzione verso questi insetti, è soprattutto la moria di api e la conseguente crisi che il settore sta affrontando su scala internazionale. Le cause di questa crisi sono molteplici e riconducibili a più fattori, tra cui: l'inquinamento ambientale che altera l'ecosistema; l'agricoltura quando fa ampio uso di fitosanitari; i cambiamenti climatici che provocano alterazioni sia nel ciclo fenologico delle specie vegetali e delle relative fioriture, che sul ciclo fisiologico delle api e famiglie stesse. Chi pratica apicoltura si ritrova quindi a dover far fronte a differenti tipologie di problematiche non sempre facilmente e rapidamente risolvibili soprattutto a causa della dislocazione su un ampio territorio degli apiari. Durante i periodi primaverili e di piena attività delle famiglie di api, l'apicoltore si trova a dover controllare frequentemente le postazioni di apiari per determinare se ci sono problemi sanitari o sciamature imminenti e per valutare se le famiglie stanno soffrendo la fame o se è invece necessario posizionare un melario a causa di un rapido accumulo di miele. La gestione aziendale risulta, di conseguenza, non essere efficiente e razionale, con elevate spese dovute agli spostamenti per le visite alle postazioni degli apiari e con perdite economiche relative a cali produttivi o a perdite di famiglie.

Se la ricerca e l'innovazione tecnologica hanno portato tramite l'agricoltura di precisione miglioramenti produttivi e organizzativi in diversi settori dell'agricoltura agevolandone le attività, negli ultimi anni l'innovazione sta venendo in aiuto anche al settore apistico, tanto che si può parlare di apicoltura di precisione o apicoltura 4.0, in cui le tradizionali tecniche apistiche



Fig. 1 *Apiario con bilancia e sensori installati (a), stazione meteorologica in prossimità dell'apiario (b), bilancia pesa arnia (c), sensori umidità e temperatura posizionati internamente all'arnia (d)*

si avvalgono di tecnologie e conoscenze moderne sia per agevolare il lavoro dell'apicoltore che per migliorare il benessere animale, in questo caso delle famiglie di api e per conoscere la situazione ambientale circostante l'apiario e quella inerente le principali fioriture, essenziale per la sopravvivenza delle api. In questo contesto quindi, ben si inseriscono i Decision Support System che negli ultimi anni si sono rapidamente diffusi nel settore apistico anche come conseguenza dell'esigenza sempre più diffusa di avere conoscenze in tempo reale di ciò che avviene in apiario e nell'ambiente circostante. Nello specifico si tratta di sistemi quali bilance, sensori di temperature, umidità e suoni interni all'arnia (fig. 1), che rilevano dati e li inviano a piattaforme dedicate.

Attraverso un'interfaccia software, l'apicoltore può vedere e valutare l'andamento delle proprie famiglie (fig. 2), avere una indicazione di ciò che succede nell'arnia e pianificare al meglio le attività aziendali, andando ad agire per tempo dove è maggiormente necessario e riducendo di conseguenza i costi aziendali. Ad esempio, poter monitorare a distanza l'andamento del peso dell'arnia, permette di capire quando è il momento di portare i melari negli apiari, toglierli o, in caso di una elevata riduzione del peso dell'arnia, esegui-

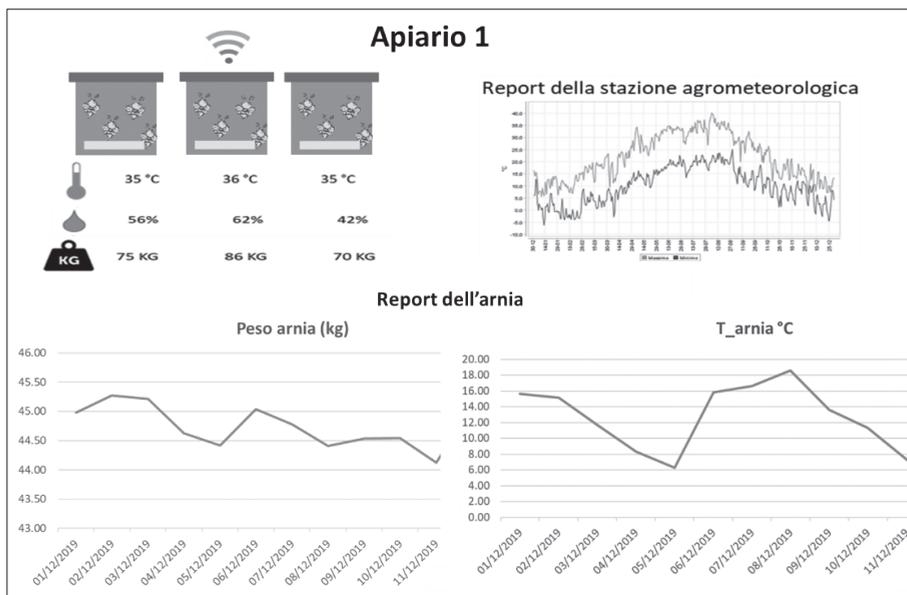


Fig. 2 *Ipotesi di schermata per la visualizzazione dei dati raccolti quali peso e temperatura dell'arnia, e dati della stazione meteorologica*

re per tempo controlli per capirne il motivo. Oltre a ciò, negli ultimi anni cominciano ad assumere importanza sempre più rilevante sia la conoscenza della situazione meteorologica puntuale della postazione in cui si trovano le arnie, e rilevabile tramite il posizionamento di una stazione meteorologica in prossimità dell'apiario, sia le informazioni riguardanti il territorio circostante l'apiario. In quest'ultimo caso, si tratta di avere informazioni inerenti gli inquinanti presenti nell'ambiente (tramite analisi dei prodotti dell'alveare), e informazioni sullo sviluppo fenologico delle principali essenze nettarifere, ottenute tramite la realizzazione di modelli specifici, ed essenziali per determinare in modo razionale gli spostamenti delle arnie.

Se tali strumentazioni si inseriscono all'interno di un network diffuso sul territorio, come quello della Toscana, si ha la possibilità di eseguire in contemporanea un monitoraggio apistico e uno ambientale, e avere conoscenza diffusa di ciò che avviene sul territorio e negli apiari. Questo network, e il relativo utilizzo dei sistemi di DSS, sono alla base del progetto NOMADI APP (PSR-FESR 2014/2020 Regione Toscana – Gruppo Operativo, Sottomisura 16.2) di cui sono partner il DAGRI dell'Università degli Studi di Firenze, la Fondazione Clima e Sostenibilità (FCS), l'Associazione Regionale Produttori Apistici Toscani (ARPAT) e alcuni apicoltori. Il progetto ha lo scopo di valu-

tare l'effettivo impiego di tale strumentazione nel supportare l'attività apistica e la realizzazione di un monitoraggio ambientale del territorio.

L'applicazione dei DSS all'ambito apistico è una innovazione relativamente recente, ma con elevate potenzialità applicative, sia per il monitoraggio a distanza degli apiari che per il monitoraggio dell'ambiente che li circonda che per approfondire la conoscenza del comportamento delle famiglie di api e della loro interazione con l'ambiente esterno.

BIBLIOGRAFIA

- DEBAUCHE O., MOULAT M., EL MAHMOUDI S., BOUKRAA S., MANNEBACK P. & LEBEAU F. (2018): *Web Monitoring of Bee Health for Researchers and Beekeepers Based on the Internet of Things*, «Procedia Computer Science», 130, pp. 991-998, <<https://doi.org/10.1016/j.procs.2018.04.103>>.
- MEIKLE W.G. & HOLST N. (2015): *Application of continuous monitoring of honeybee colonies*, «Apidologie», 46 (1), pp. 10-22, <<https://doi.org/10.1007/s13592-014-0298-x>>.
- ZACEPINS A., BRUSBARDIS V., MEITALOVS J. & STALIDZANS E. (2015): *Challenges in the development of Precision Beekeeping*, «Biosystems Engineering», 130, pp. 60-71, <<https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2014.12.001>>.

C. BENELLI¹, A. DE CARLO¹, M. LAMBARDI¹

Innovazione nella micropropagazione commerciale: la coltura liquida in immersione temporanea

¹ Consiglio Nazionale delle Ricerche, IBE-Istituto per la BioEconomia, Sesto Fiorentino (Firenze)

La micropropagazione (propagazione *in vitro*) rappresenta oggi una importante tecnica vivaistica commerciale. Oltre 50 milioni di piante di elevato standard qualitativo sono prodotte annualmente in laboratori commerciali italiani, alcuni di rilevanza internazionale. Ciononostante il sistema deve costantemente aggiornarsi per rispondere alla forte concorrenza proveniente da laboratori collocati in Paesi a più basso costo di manodopera. La coltura liquida in immersione temporanea (TIS, Temporary Immersion System) rappresenta l'evoluzione del tradizionale sistema di coltura in substrato gelificato, proponendosi all'attenzione per i suoi vantaggi in termini di qualità delle colture, costi di produzione più contenuti, limitazione nell'insorgenza di comuni patologie delle piante in vitro. È noto che la tecnica di micropropagazione tradizionale richiede un elevato numero di contenitori (in vetro o in plastica), una notevole quantità di substrati gelificati e un frequente trasferimento degli espianti in substrato "fresco" (in genere, ogni 3-4 settimane), necessario sia per permettere un ricambio dell'atmosfera interna, sia per il parziale esaurimento dei componenti nutritivi del substrato, necessari per la crescita delle plantule. La fase di subcoltura incide consistentemente sui costi di produzione, in particolare per il contributo della voce "manodopera": infatti, si stima che la preparazione dei substrati e la manipolazione degli espianti per il periodico trasferimento delle colture incidano per un 40-60% sul costo finale della pianta micropropagata.

Il requisito fondamentale della coltura in TIS è di permettere l'applicazione di cicli giornalieri di breve coltura in immersione (cioè, col materiale vegetale immerso sul substrato liquido), alternati a periodi più lunghi di coltura in "asciutto", in genere accompagnati dalla periodica ventilazione dei contenitori. I cicli applicati cambiano da coltura a coltura e devono essere definiti sperimen-



Fig. 1 Diversi tipi di bioreattori per coltura ad immersione temporanea: a, b) germogli binodali di olivo, cv Canino, in coltura in bioreattore RITA[®], con tempi di immersione di 16 min ogni 16 h (Lambardi et al., 2006); c, d) germogli binodali di olivo, cv Canino, in coltura in bioreattore Plantform[™], con tempi di immersione di 8 min ogni 16 h e ventilazione di 15 min ogni 4 h (Benelli e De Carlo, 2108); e, f) germogli di actinidia, cv Hayward, in coltura in bioreattore SETIS[™], con tempi di immersione di 8 min ogni 16 h

talmente per ottenere le migliori condizioni di coltura. I bioreattori per coltura in TIS si dividono in sistemi ad un solo contenitore (ad esempio, RITA[®], Plantform, ElecTIS) oppure a due contenitori (fiasche gemelle, SETIS[™]; fig. 1).

Tra i principali vantaggi della coltura in TIS nel processo di propagazione delle piante si ricordano: (i) l'aumento dell'assorbimento dei nutrienti

e dei regolatori della crescita grazie al contatto del substrato liquido con l'intera superficie degli espianti, (ii) l'aerazione, che fornisce un eccellente apporto di ossigeno e impedisce l'accumulo di gas (etilene, CO₂) nei contenitori, con conseguente migliore crescita e qualità delle colture, (iii) il movimento degli espianti all'interno del bioreattore, che determina una ridotta espressione della dominanza apicale, favorendo la proliferazione delle gemme ascellari, (iv) la significativa riduzione della manodopera dovuta alla minore manipolazione del materiale, v) i tempi più lunghi delle subcolture con minore contaminazione quando la coltura risulta stabilizzata, (vi) la possibilità di avere, in alcune specie, la contemporanea proliferazione e radicazione dei germogli, a tutto vantaggio dell'organizzazione del lavoro in vitro, (vii) la comprovata migliore qualità morfo-anatomica delle plantule in coltura che meglio si predispongono alla successiva fase di acclimatazione in serra.

FREQUENZA E TEMPO DI IMMERSIONE

In tutti i sistemi di coltura liquida in TIS, un ruolo fondamentale è ovviamente giocato dalla frequenza dei cicli di immersione e dal tempo di permanenza dei germogli a contatto con il substrato liquido durante ciascuna immersione. Questi parametri sono in grado di influenzare consistentemente i tassi di proliferazione che si ottengono, il contenimento dell'iperidricità, la percentuale di germogli radicati, i tempi di subcoltura e, in generale, la qualità del materiale prodotto. In tal senso, non si possono dare indicazioni assolute, anche perché i diversi bioreattori danno risposte diversificate, anche quando utilizzati con lo stesso materiale; inoltre, il volume dei contenitori impiegati influisce sulla qualità delle colture. Per chi volesse provare l'applicazione di uno di questi sistemi con una nuova specie o cultivar è consigliabile predisporre una prova preliminare, nella quale comparare frequenze e tempi diversi di immersione. I cicli applicati sono, in genere, costituiti da brevi periodi di immersione (in genere, da un minimo di 2 a un massimo di 30 minuti), alternati a lunghi periodi di permanenza del materiale vegetale in asciutto (in genere, da 4 a 16 ore). Si riportano di seguito brevi note su tre tipi di bioreattore in TIS, due prodotti industrialmente e un prototipo.

Plantform[™]

L'efficacia della coltura in TIS in olivo è stata valutata attraverso un confronto tra il bioreattore *Plantform*[™] e la tradizionale coltura semisoli-

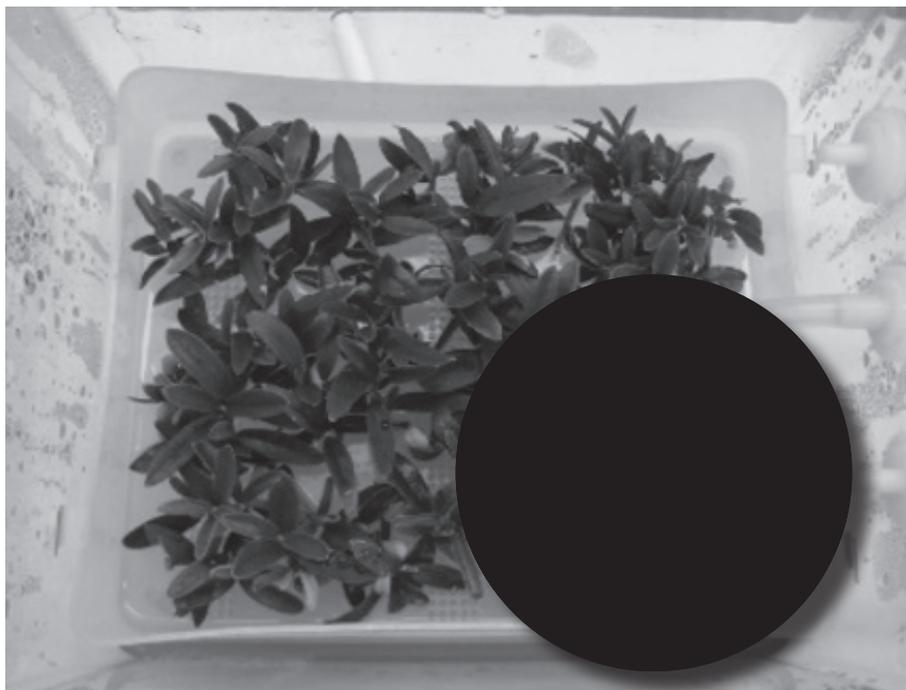


Fig. 2 Germogli di olivo (cv Canino) in bioreattore Planform™ dopo 28 giorni di coltura

da in vaso di vetro (Benelli e De Carlo, 2018). I risultati hanno mostrato che la specie ben si adatta alla crescita in bioreattore (fig. 2), con tassi di sopravvivenza e qualità dei germogli superiori a quelli ottenuti con la micropropagazione tradizionale. In particolare, la riduzione della concentrazione di zeatina da 10 μM a 5 μM e dei tempi di subcoltura, quindi della manodopera richiesta, possono consentire una riduzione dei costi di produzione finali.

SETIS™

Un bioreattore TIS con notevoli opportunità di applicazione è il SETIS™, per il quale è illustrato lo schema di funzionamento in fig. 3. Il bioreattore SETIS™ è stato di recente applicato, in via sperimentale, alla micropropagazione del nocciolo (*Corylus avellana*) presso il laboratorio di micropropagazione dei Battistini vivai di Cesena (fig. 4), evidenziandone interessanti potenzialità applicative in termini sia di qualità delle colture prodotte con questo sistema, sia di contenimento dei costi di manodopera.

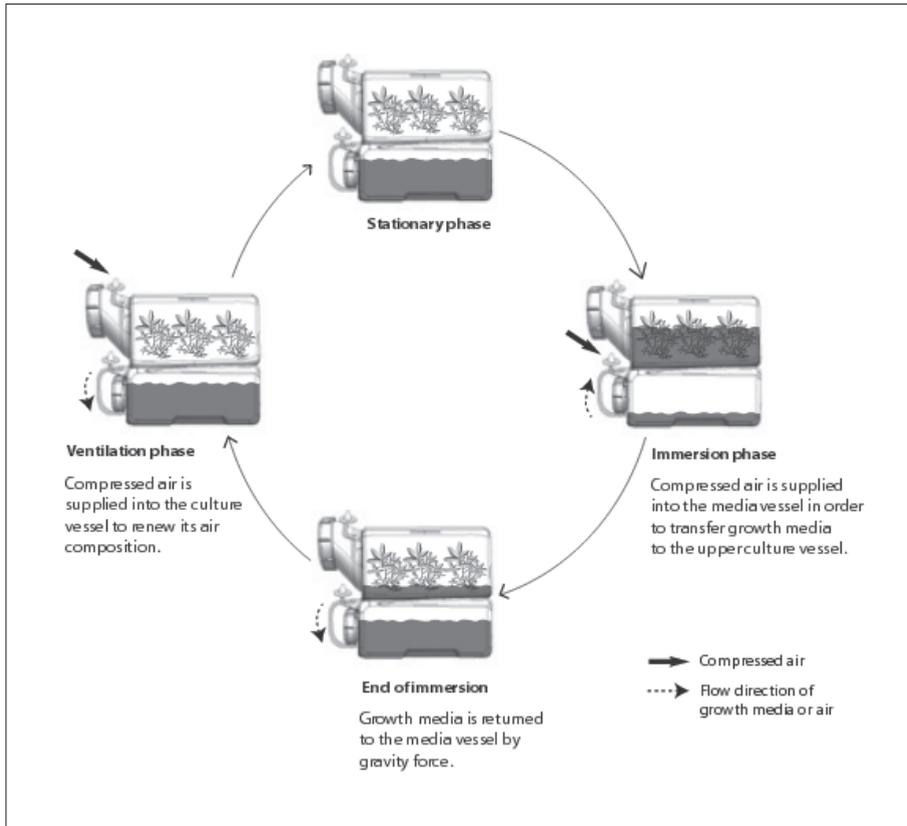


Fig. 3 Il bioreattore SETIS™ è composto da due contenitori sovrapponibili, collegati da tubi di silicone. Durante la fase stazionaria (Stationary phase) il substrato liquido permane nel contenitore sottostante e la coltura di germogli nel contenitore in alto; quando una pompa ad aria, collegata a un timer, entra in funzione spinge il substrato liquido nel contenitore superiore, avviando la fase di immersione del materiale vegetale (Immersion phase); trascorso il tempo impostato, la pompa cessa di funzionare e il substrato liquido per caduta torna nel contenitore sottostante (End of immersion). È possibile applicare anche una fase di ventilazione forzata (Ventilation phase), indotta da una seconda pompa collegata ad un ulteriore timer. La sterilità all'interno dei contenitori è assicurata da appositi filtri che sono attraversati dall'aria proveniente dalle pompe

ElecTIS

ElecTIS è una nuova proposta di bioreattore TIS, nato dalla collaborazione di Claudio Depaoli con il CNR-IBE di Sesto Fiorentino (FI). Questo bioreattore consiste in un grande contenitore di plastica (2000 cc), con un coperchio e un cestello che entra nello spazio interno (fig. 5a). Il cestello ha due cilindri (fig. 5b) in cui si inseriscono due pistoni a soffiato attaccati al



Fig. 4 Batteria di 12 bioreattori SETIS™ per la coltura in TIS di nocciolo (*Corylus avellana*) presso il laboratorio di micropropagazione della Battistini vivai di Cesena (per gentile concessione di Massimiliano Meneghini)

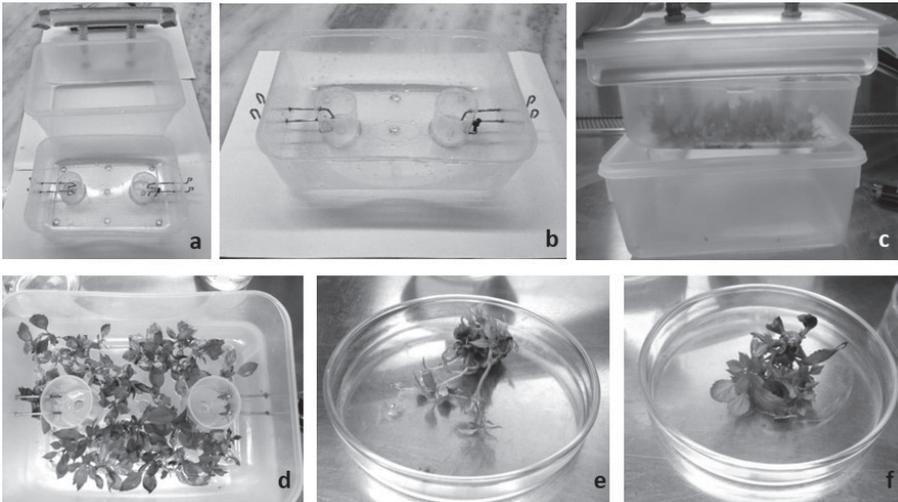


Fig. 5 Componenti e assemblaggio del bioreattore ElecTIS. a) i componenti di ElecTIS: coperchio (in alto), scatola (al centro) e cestello (in basso); b) il cestello con i cilindri dove sono allocati i pistoni; c) il cestello con dentro una cultura di germogli di melo (*Malus sylvestris*), prima della chiusura di ElecTIS; d) coltura di *M. sylvestris* con sistema ElecTIS; e) esempio di 'cluster' di germogli cresciuto in mezzo tradizionale gelificato che mostra lunghi germogli e foglie con piccole superfici; f) esempio di 'cluster' di germogli coltivato in ElecTIS che mostra brevi germogli e foglie con superfici più grandi (da Sota et al., 2020)

coperchio. Il cestello viene preparato con la coltura di germogli all'interno e collegato al coperchio, prima di essere inserito nel contenitore (fig. 5c,d). Il coperchio viene quindi collegato ermeticamente al contenitore. La retrazione e l'espansione dei pistoni è consentita da un collegamento con una pompa aspirante e si traduce nel movimento su e giù del cestello. Il flusso d'aria è solo all'interno dei pistoni, mentre l'aria non viene pressata all'interno del contenitore, limitando i rischi di contaminazione che si hanno con i bioreattori ad immissione forzata di aria al loro interno. Il cestello con i germogli viene immerso nel mezzo nutritivo quando i due pistoni sono espansi, mentre è sospeso nel contenitore quando si ritirano. Il ciclo di immersione è controllato da un timer elettronico. Tutte le parti ElecTIS sono realizzate con un materiale in polipropilene trasparente e resistente al calore e possono essere facilmente sterilizzate in autoclave (Capuana et al., 2018).

LETTERATURA CITATA

- BENELLI C., DE CARLO A. (2018): *In vitro multiplication and growth improvement of Olea europaea L. cv Canino with temporary immersion system (Plantform™)*, «3 Biotech», 8 (7), 317, doi 10.1007/s13205-018-1346-4.
- CAPUANA M., DEPAOLI C., OZUDOGRU A., LAMBARDI M. (2018): *Una nuova proposta per la coltura liquida in immersione temporanea: il bioreattore 'ElecTIS'*, «Acta Italus Hortus», 21, pp. 98-99.
- LAMBARDI M., BENELLI C., OZDEN-TOKATLI Y., OZUDOGRU E.A., GUMUSEL F. (2006): *A novel approach to olive micropropagation: the temporary immersion system*, Proc. "2nd Int. Seminar OLIVEBIOTEQ 2006", vol. I, Marsala-Mazara del Vallo, Italy, pp. 319-326.
- SOTA V., BENELLI C., ÇUKO B., PAKAKOSTA E., DEPAOLI C., LAMBARDI M., KONGJIKA E. (2020): *Evaluation of ElecTIS bioreactor for micropropagation improvement of Malus sylvestris (L.) Mill., an important autochthonous species of Albania*, HORTSCI (in press).

PER APPROFONDIMENTI

- CARVALHO L., OZUDOGRU E.A., LAMBARDI M., PAIVA L. (2019): *Temporary immersion system for micropropagation of tree species: a bibliographic and systematic review*, «Notulae Botanicae Horti Agrobotanici», 47 (2), pp. 269-277, doi: 10.15835/nbha47111305.
- ETIENNE H., BERTHOULY M. (2002): *Temporary immersion systems in plant micropropagation*, «Plant Cell Tissue Organ Cult», 69, pp. 215-31, doi: 10.1023/A:1015668610465.
- GEORGIEV V., SCHUMANN A., PAVLOV A., BLEY T. (2014): *Temporary immersion systems in plant biotechnology*, «Eng. Life Sci», 263, 14, pp. 607-621, doi: 10.1002/elsc.201300166.

- LAMBARDI M. (2012): *Micropropagazione in coltura liquida con sistema ad immersione temporanea*, «Rivista di Frutticoltura e Ortofloricoltura», 12, pp. 32-38.
- WATT M.P. (2012): *The status of temporary immersion system (TIS) technology for plant micropropagation*, «African Journal of Biotechnology», 11 (76), pp. 14025-14035.

Meccanica e meccanizzazione

P. PICCAROLO¹, D. MONARCA²

Macchine e impianti per l'orticoltura

¹ Accademia dei Georgofili

² DAFNE, Università della Tuscia

Nelle colture ortive il concetto di filiera produttiva è applicato in modo esasperato. Tutte le fasi della filiera sono concatenate in modo molto stretto alla successiva, coinvolgendo competenze che vanno dalla genetica alla agronomia, dalla meccanizzazione dei processi in campo al controllo della qualità negli impianti di trasformazione, dalla tracciabilità dei prodotti alla logistica dei trasporti, consegna e distribuzione agli utenti finali.

Le aziende del settore programmano la produzione in base alle esigenze del mercato, oggi sempre più interessato alle produzioni di IV gamma e costantemente attento alla qualità dei prodotti e ai suoi aspetti nutritivi e in alcuni casi nutraceutici. Sulla produzione incidono anche fattori strutturali, come il costo e la disponibilità di manodopera, l'innovazione delle tecnologie, in grado di ridurre i costi di produzione, ma anche accordi commerciali, che condizionano l'andamento dei mercati. L'OMS consiglia un consumo medio giornaliero di 400 grammi di frutta e verdura, ma in molti paesi, come il Nord Europa, i valori sono nettamente inferiori. Il nostro paese è un paese tradizionalmente orticolo, con un consumo procapite annuo di circa 210 kg (330 se si include il frutticolo). Dopo anni di tendenza al ribasso, negli ultimi anni si sta promuovendo il consumo tra i giovani, esaltando le proprietà nutrizionali della media mediterranea, con specifici programmi ministeriali.

IL VIVAISMO

La filiera parte dalla programmazione della produzione e inizia con la scelta varietale. In questa fase è fondamentale il ruolo del vivaismo, che permette alle

aziende di avere delle piantine da mettere a dimora in grado di garantire una serie di vantaggi rispetto alla semina diretta. Il vivaismo è affidato ad aziende specializzate e accreditate in grado di produrre piantine da trapianto, caratterizzate da: (i) equilibrio tra apparato radicale e parte epigea, (ii) foglie espanse, prive di macchie, (iii) steli robusti, rigidi e non eziolati, (iv) totale assenza di insetti e danni da parassiti, (v) avanzamento della fase vegetativa.

La produzione delle piantine, per lo più su contenitori alveolari, è fortemente meccanizzata. Le caratteristiche dei contenitori sono importanti perché condizionano l'impiego delle trapiantatrici di pieno campo. La semina avviene oggi con impianti altamente automatizzati con seminatrici su vassoio (a piastra o a tamburo) che arrivano a produttività di 1500 vassoi/ora. Anche la movimentazione è automatizzata, sia nell'accatastamento dei contenitori e trasporto nelle celle di germinazione, che per il successivo collocamento nelle serre di crescita, anche per evitare possibili contaminazioni da parte degli operatori stessi.

Il ripicchettamento, che trasferisce le piantine germinate in contenitori più grandi e con distanza maggiore, permette anche la selezione delle piante più robuste e l'eliminazione delle piantine imperfette e va fatto tempestivamente poco dopo l'estensione dei cotiledoni o all'emissione della prima fogliolina. Oggi sono presenti sul mercato ripicchettatrici automatiche che combinano selezione e trapianto in un'unica operazione, con capacità da 3.000 sino a 30.000 piantine/h. Anche la pratica dell'innesto, intensificato negli ultimi anni per aumentare resistenza e la capacità produttiva di alcune ortive (pomodoro, melanzane, peperoni, ma anche melone, cetriolo e anguria), si avvale oggi di sistemi automatici o semiautomatici che arrivano ad una produzione oraria di oltre 1000 piante.

MECCANIZZAZIONE DELLA SEMINA E DEL TRAPIANTO

La semina non è stata ancora del tutto abbandonata in orticoltura, grazie all'impiego di semi calibrati e/o confettati che consentono l'uso delle seminatrici di precisione. La semina è certamente più rapida (4 h/ha o meno), e l'apparato radicale si approfondisce maggiormente ed è soggetto a minor stress. Di contro il ciclo colturale è più lungo e le emergenze possono essere non uniformi se le condizioni pedoclimatiche non sono ottimali. Le seminatrici di precisione oggi consentono l'applicazione anche di concimi granulari o agrofarmaci microgranulati. Le distanze di semina e trapianto sono legate alla meccanizzazione delle fasi successive, in particolare del tipo di raccogliatrice (fila singola, binata o multipla).

Sono molteplici le ragioni che negli ultimi anni spingono verso sempre un maggiore impiego delle macchine trapiantatrici. La riduzione delle fallanze, la possibilità di anticipo del ciclo colturale (piena aria e serra), la maggiore competitività con le infestanti sin dalle prime fasi del ciclo, bilanciano il maggior costo delle piantine, la necessità di manodopera e la minor capacità di lavoro delle macchine. Le trapiantatrici possono operare sia su modulo (la radice con torba intorno) che su radice nuda, la scelta dipende dalle caratteristiche dell'impianto e del sistema radicale. Alcuni modelli trapiantano piantine in cubetto pressato. La tecnologia più avanzata si basa su trapiantatrici meccaniche che operano su moduli. I modelli più diffusi sono trainati, e operano su fila semplice o doppia. Gli operatori, uno a fila, estraggono i moduli dai vassoi e li depongono negli 8 o 10 bicchieri del distributore rotante collegato con il sistema di deposizione nel solco. Ruote di pressione, opportunamente regolate, premono il terreno intorno alle piantine. La produttività oggi raggiunge 4.000-4.500 piante/h per ciascuna fila (si riduce per le trapianta-pacciamatrici). Recentemente sono state introdotte macchine completamente automatiche, in cui l'unico operatore a bordo si limita ad alimentare i vassoi all'interno delle guide di caricamento del singolo elemento piantante. La macchina successivamente provvede a estrarre automaticamente gli alveoli mediante un sistema basato su degli espulsori a forma cilindrica il cui diametro può variare in funzione della dimensione dei fori esistenti sulla parte inferiore del pannello che si desidera utilizzare.

La orticoltura oggi si va orientando molto verso le produzioni biologiche e per la lotta alle infestanti vengono impiegate delle macchine pacciamatrici stenditelo, anche combinate con trapiantatrici a fila singola o doppia. I film sono in plastica biodegradabile, che si decompone in tre mesi circa. In alternativa si usano delle sarchiatrici su fila composte da un numero di elementi pari al numero di file da sarchiare (da 2 a 8). Ciascun elemento è dotato di una barra ottica a infrarossi in grado di identificare, durante l'avanzamento, la presenza o meno delle piante messe a coltivazione. Ogni elemento è munito inoltre di una coppia di braccetti (azionati idraulicamente) alle cui estremità sono installate lame interagenti che operano a profondità regolabile e che sono in grado di eliminare erbe infestanti sino a un cm di distanza dalla pianta coltivata, riducendo drasticamente l'impiego di mano d'opera e l'uso di prodotti chimici. Per le operazioni colturali, con l'obiettivo di razionalizzare e ridurre gli input produttivi e le irrigazioni, sia in pieno campo che in coltura protetta, trovano applicazione le tecnologie 4.0 applicate all'agricoltura di precisione: guida assistita, GIS aziendale, sistemi di supporto alle decisioni, mappe di prescrizione, operazioni a rateo variabile, gestione irrigazione ed interventi fitosanitari.

MECCANIZZAZIONE DELLA RACCOLTA

La fase di raccolta dei prodotti ortivi è quella maggiormente onerosa, per l'elevato impiego di manodopera necessaria. È possibile meccanizzare integralmente questa fase per le produzioni destinate all'industria, come il pomodoro, il fagiolino e altri ortaggi destinati alla trasformazione, più difficile le colture destinate al mercato fresco. Per alcune colture, come ad esempio l'asparago e il carciofo, le macchine permettono solo di agevolare la raccolta, migliorando la postura degli addetti.

Per il pomodoro da industria si è giunti a un livello di innovazione e affidabilità molto elevato, che permette di abbattere i costi della raccolta e mantenere competitiva la coltivazione nonostante la crescente concorrenza dei paesi del Nord Africa e della Cina. Le macchine permettono ad esempio una regolazione fine della scuotitura, per non danneggiare le bacche, e anche i selezionatori hanno raggiunto livelli di sensibilità e prestazioni notevolissimi. I più recenti sono autolivellanti e alimentati da nastri in PVC con larghezza utile interna di 125 cm, e con velocità di 65 metri/minuto, selezionano quantità incredibili di pomodoro. Nelle raccogliatrici oggi la guida satellitare e il computer di bordo sono integrati per permettere la completa tracciabilità delle produzioni e tutte le informazioni, comprese percentuali qualitative, velocità di avanzamento e superficie raccolta sono visibili nella consolle al posto di guida.

I prodotti di IV gamma, pronti all'uso, sono in continua espansione, non solo nei Paesi occidentali, ma anche in Russia e nelle grandi metropoli di molti paesi emergenti. La coltivazione avviene per lo più in serra e per le insalate, soprattutto le baby-leaf, oggi la raccolta viene eseguita con macchine raccogliatrici specifiche, composte da un apparato di taglio frontale e da nastri per il sollevamento, la prima pulizia ed il deposito delle foglie raccolte. Sono macchine in cui l'elettronica e la sensoristica trovano largo impiego ed utilizzano materiali di prima scelta (come l'acciaio inox). L'obiettivo è quello di garantire la qualità del prodotto e agevolare la successiva lavorazione. Le testate sono dotate di sensori a infrarossi che precedono la testata di taglio per una regolazione fine della lunghezza della foglia tagliata. Altri sensori rilevano corpi estranei, come animali e parti metalliche. Le foglie da scartare sono eliminate regolando la distanza e la differenza tra le velocità di avanzamento tra il nastro frontale e quello posteriore. Una prima vagliatura a bordo elimina le foglie troppo piccole o fuori dal range definito (in genere da 16 a 24 mm di lunghezza).

Per le produzioni di IV gamma l'agricoltura di precisione trova forse la sua massima applicazione: guida satellitare, software di valutazione dell'ac-

crescimento, automazione della raccolta, degli interventi fitosanitari e della distribuzione di acqua e fertilizzanti, controllo dei corpi estranei (senza clorofilla), mappatura e tracciabilità del raccolto, sistemi di supporto decisionali. La coltivazione in serra spinge inoltre verso una crescente utilizzazione di motori elettrici in sostituzione di quelli endotermici. Una ulteriore innovazione riguarda la biodegradabilità, le prestazioni e la durata dei film plastici di copertura, che oggi raggiunge anche i 48 mesi. Per la applicazione di sistemi completamente robotizzati sono necessarie ulteriori ricerche per renderli più veloci, semplici e sicuri da usare nella pratica. Le performance nella maggior parte dei sistemi sviluppati sono ancora troppo basse per consentirne una attuazione economicamente valida. Dal lato della pianta, l'allevamento delle colture con nuovi fenotipi e architetture vegetali, con frutti facili da vedere e raggiungere, semplificherà e accelererà l'applicazione della robotica nel settore orticolo.

LAVORAZIONE POST-RACCOLTA

Le prime lavorazioni post raccolta per i prodotti destinati al consumo fresco sono eseguite per lo più presso la stessa azienda. Gli obiettivi principali delle recenti innovazioni in questa fase riguardano: (i) riduzione del costo delle operazioni; (ii) aumento dell'automazione e della capacità di lavoro; (iii) riduzione dell'impatto ambientale; (iv) miglioramento della sicurezza e del benessere dei lavoratori; (v) riduzione del loro impatto sulla qualità.

La gestione post-raccolta di questi prodotti è finalizzata al condizionamento per il mercato finale: pulizia, prerrefrigerazione e refrigerazione del prodotto alla temperatura adeguata, eliminazione dei corpi estranei e degli scarti, selezione e calibrazione del prodotto, eventuale impacchettamento o incassettamento.

Le principali innovazioni nelle lavorazioni post-raccolta riguardano il controllo della qualità, la conservazione e il packaging, il contenimento dei consumi e dell'impatto sull'ambiente.

Per il controllo della qualità l'uso di metodi non distruttivi è oggi largamente applicato per il rilievo precoce dei difetti. Si parte da selettori ottici basati sulla elaborazione ed analisi di immagini digitali, ai sensori on line e in line che utilizzano la spettroscopia NIR e iperspettrale e sostituiscono i prelievi off-line a campione. Macchine selezionatrici dotate sia di tecnologia NIR che di analisi della clorofilla RGB sono disponibili in commercio per la rilevazione molto accurata di corpi estranei in prodotti che hanno natu-

ralmente alto contenuto di clorofilla, riuscendo a scartare corpi estranei che hanno persino lo stesso colore del prodotto buono. L'imaging iperspettrale è una combinazione o integrazione di analisi di immagine e tecniche spettroscopiche per la previsione quantitativa delle caratteristiche fisiche e chimiche dei campioni alimentari. Il suo uso può fornire maggiori informazioni sulla storia pre-raccolta dei prodotti freschi.

Per la conservazione, in cui si stanno sempre più diffondendo le applicazioni della atmosfera controllata e dell'ozono, si bada oggi sempre più agli aspetti energetici (riduzione dei consumi) e di sostenibilità, con impiego di materiali biodegradabili o ecocompatibili, provenienti da fonti rinnovabili o riciclabili (i costi sono ancora alti), con imballaggi in atmosfera modificata, con sistemi di controllo attivo e/o intelligente.

Un'altra recente tendenza del mercato riguarda il consumo di prodotti disidratati e semidisidratati, che riducono volumi e masse in gioco, e che allungano i tempi di conservazione e la shelf-life. Questi prodotti vengono utilizzati come alternativa al fresco, come snack. Sono da approfondire gli aspetti energetici, legati a temperature e tempi di processo, anche per ridurre i consumi.

Olivicoltura

M. MORIONDO¹

DROLIVE: piattaforma informatica web di gestione dati per agricoltura di precisione sull'olivo

¹ Istituto per la BioEconomia CNR

I sistemi tecnologici SAPR (Sistemi Aeromobili a Pilotaggio Remoto, altrimenti noti come droni), integrati con modelli colturali, sono ormai in grado di fornire un supporto importante per il monitoraggio e la gestione delle colture in ambito aziendale.

La tecnologica proposta nell'ambito del progetto DROLIVE si basa su una piattaforma informatica web capace di integrare sistemi di proximity sensing, sensoristica e modelli matematici finalizzati alla gestione sostenibile della coltura dell'olivo al fine di poter applicare gli strumenti dell'agricoltura di precisione, ed è stata elaborata anche per aziende di media dimensione.

Nell'ambito di questo progetto, cofinanziato da Regione Toscana, Università di Firenze e Dream Italia, sono stati messi a punto algoritmi che a partire da informazioni acquisite da sensori wireless e rilevamenti da drone e satellite, permettono a chi accede alla piattaforma un accurato monitoraggio di vari parametri. Si può infatti rilevare in continuo la crescita e lo stato fitosanitario della coltura in varie condizioni fisiologiche, climatiche e di stress, al fine di ottimizzare l'uso dell'acqua e degli input energetici e nutrizionali, di identificare le pratiche di gestione atte a migliorare la produzione in termini qualitativi e quantitativi, nonché facilitare la programmazione sito-specifica degli interventi per la lotta alle infestanti e ai patogeni.

Lo sviluppo di questa piattaforma intende quindi facilitare e ottimizzare la gestione delle informazioni a supporto delle decisioni da parte degli agricoltori. Allo stato attuale, la piattaforma è già fruibile via web e nel prossimo futuro sarà integrabile con altri sistemi di rilevamento da remoto (interoperabilità) e facilmente utilizzabile anche da utenti non esperti nell'ambito dell'applicazione dell'agricoltura di precisione.

DROLIVE

Benvenuti sul sito del progetto DROLIVE

Il progetto DROLIVE

DROLIVE ("Definizione e Implementazione di una piattaforma informatica web di gestione dati per l'agricoltura di precisione sulla coltura dell'olivo") è un progetto POR FSE 2014-2020 finanziato al 50% nell'ambito del progetto Giovani! (www.giovani.it), al 25% dal DAGRI (Dipartimento di Scienze e Tecnologie Agrarie, Alimentari Ambientali e Forestali) dell'Università di Firenze ed al 25% da D.R.E.A. Italia (Dimensione Ricerca Ecologia Ambiente).

Obiettivo

Il progetto DROLIVE si prefigge la realizzazione di una piattaforma web per il monitoraggio e la gestione sostenibile degli oliveti Toscani. Tale obiettivo è raggiunto attraverso l'elaborazione di informazioni ottenute tramite l'utilizzo di tecnologie di telerilevamento e di sensori posizionati a terra. Le informazioni fornite dalla piattaforma DROLIVE in relazione ad alcuni obiettivi caso di studio riguardano:

- L'andamento degli indici di vegetazione (NDVI, OSAVI, GEMI, MCARI2) nel corso dell'anno attraverso l'utilizzo di immagini satellitari.
- Le condizioni meteorologiche di temperatura (°C) ed umidità dell'aria (%) e contenuto di acqua nel suolo (%) degli oliveti.
- L'andamento fenologico annuale degli olivi (germoglitamento, fioritura ed inasatura) attraverso l'utilizzo di appositi modelli.

Flowchart illustrating the project methodology:

```

graph TD
    A[Data Collection] --> B[Materials and Methods]
    B --> C[DROLIVE]
    C --> D[Results]
  
```

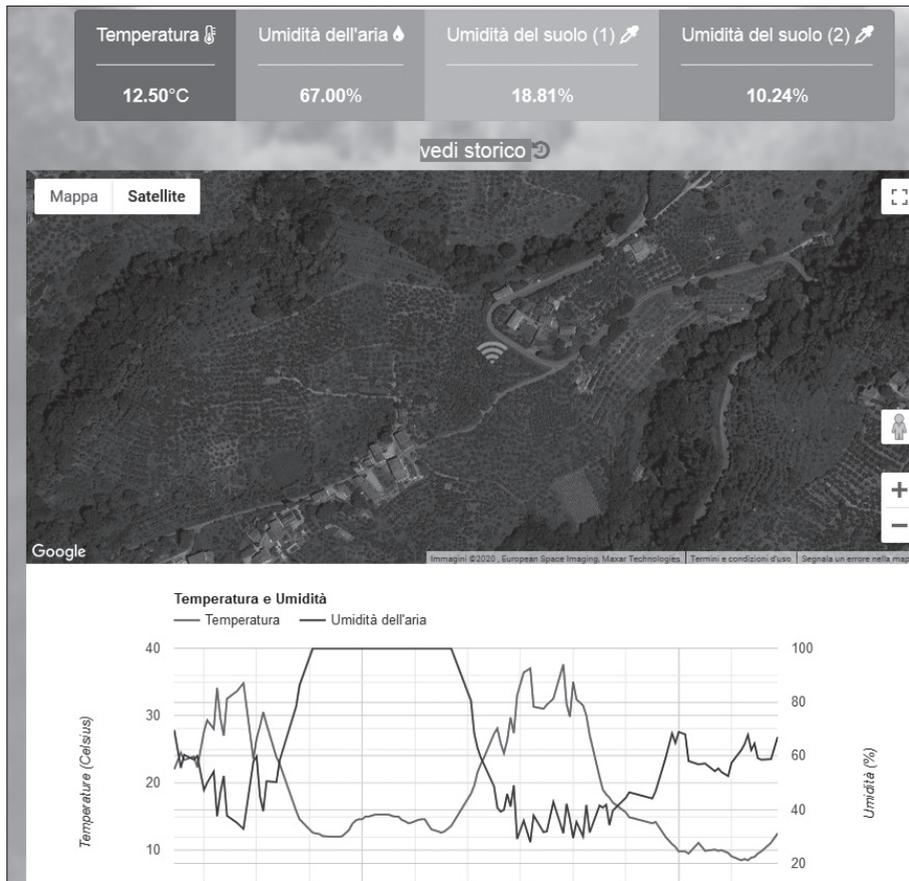
Le informazioni ottenibili dalla piattaforma informatica di acquisizione di dati telerilevati da drone e da rete sensoristica wireless possono essere utilizzati congiuntamente a quelle puntuali relative alle principali caratteristiche del sistema pianta-suolo per ottimizzare le pratiche colturali tipiche dell'olivo.

L'accesso al sito è possibile all'indirizzo: <http://150.217.140.228/>.

È possibile creare un nome utente, con una propria password, e visualizzare i diversi siti fino ad ora studiati, con una fotografia di quello che vede allo stato attuale attraverso le immagini da satellite. In altre parole il sistema fornisce informazioni sullo sviluppo dell'area fogliare e sulla fenologia; la data di fioritura è una stima fatta sul passato che si aggiorna sui dati meteo osservati.

Il sito non permette per ora di inserire possibili variazioni nella gestione dell'uliveto ma queste sono in corso di sviluppo.

L'operatore ha però la possibilità di inserire le coordinate del proprio appezzamento e il sistema provvederà a fornire tutte le informazioni che può reperire sul sito stesso. Attualmente questa parte del lavoro non è automatica,



ma viene eseguita dai ricercatori sviluppatori inserendo uno Shape file che descrive l'aria che si vuole studiare, ma nell'imminente sarà l'operatore stesso a delimitare sullo schermo l'area che vuole analizzare.

BIBLIOGRAFIA

- CARUSO G., ZARCO-TEJADA P.J., GONZALEZ-DUGO V., MORIONDO M., TOZZINI L., PALAI G., ... & GUCCI R. (2019): *High-resolution imagery acquired from an unmanned platform to estimate biophysical and geometrical parameters of olive trees under different irrigation regimes*, «PloS one», 14 (1).
- MORIONDO M., CHIESI M., BRILLI L., BINDI M., MASELLI F. (2011): *Simulation of olive productivity in Tuscany through the integration of remote sensing and data on the ground*, Proceedings 1 at ASITA National Conference, Palace of Colorno, Italy.

Tecniche agronomiche

L. SARTORI¹, F. MARINELLO¹

Le innovazioni offerte dalle tecnologie digitali nelle lavorazioni del terreno

¹ TESAF, Università degli Studi di Padova

Lo scopo delle lavorazioni del terreno è da sempre quello di creare l'ambiente più favorevole per l'accrescimento della coltura dalle prime fasi sino alla raccolta.

Considerata l'attuale e sempre più importante strategia di riduzione dei costi a livello aziendale, in molti casi gli obiettivi delle lavorazioni del terreno possono essere raggiunti semplificando gli interventi. Non a caso, in questi ultimi anni, le tecniche di agricoltura conservativa sono state al centro delle scelte imprenditoriali di molti agricoltori, anche a seguito di misure agro-ambientali messe in atto dagli enti regionali.

Le tecniche di agricoltura di precisione applicate alle lavorazioni del terreno sono, al momento attuale, ancora relegate a una fase sperimentale anche se è evidente la loro importanza nell'ambito dell'attività agricola nel contenere i costi e salvaguardare le risorse ambientali.

La lenta ma progressiva affermazione di queste innovazioni è attribuibile alla raffinata integrazione della meccanica e con l'elettronica trasformandosi in un insieme chiamato "meccatronica". Oggi la meccanica agraria ha ormai raggiunto livelli di capacità di adattamento tali da offrire una estesa gamma di possibilità al fine di raggiungere obiettivi agro-ambientali impensabili rispetto a un recente passato.

Esistono delle concrete prospettive di sviluppo a breve termine legate alla possibilità di coniugare le implicazioni ambientali delle lavorazioni del terreno (agricoltura conservativa) con quelle dell'agricoltura di precisione. Ad esempio i sistemi di guida satellitare ben si applicano, e anzi sono spesso necessari, per attuare la coltivazione a strisce o anche per adottare la tecnica del traffico controllato. È intuitiva inoltre l'importanza di poter variare o di ridurre al minimo la profondità di lavoro per ridurre i costi e gli assorbimenti di energia,

oppure ancora della possibilità di adattare il metodo di lavorazione in funzione della variabilità dei terreni, senza generare disturbi agli apparati radicali.

LE LAVORAZIONI DEL TERRENO E I SISTEMI DI GUIDA

L'utilizzo di sistemi di guida satellitare si dimostra anche in questo settore vantaggioso soprattutto con attrezzature di elevata larghezza di lavoro operanti a elevata velocità e in condizioni di scarsa visibilità ambientale e con riferimenti e marcatori poco efficaci. In questi casi i vantaggi di un sistema di guida rispetto alla guida manuale si concretizzano in un aumento della capacità di lavoro e nell'allungamento del periodo utile.

Con la guida assistita o semi-automatica è possibile aumentare dal 13 al 25% la velocità di avanzamento e di massimizzare la larghezza di lavoro rispetto ai normali tracciatori; questo comporta l'aumento della capacità di lavoro delle macchine fino al 30%. In termini gestionali, il beneficio consiste in una maggiore superficie lavorata giornaliera e nel maggior intervallo di tempo utile per eseguire gli interventi colturali con ricadute positive sull'uso e sulla consistenza del parco macchine (meno operatrici o minor potenza dei trattori).

Oltre ai vantaggi economici, se ne possono conseguire altri meno monetizzabili ma altrettanto apprezzabili, quali la riduzione dello stress e la sicurezza dell'operatore.

I sistemi di guida sono strumenti efficaci e spesso indispensabili per attuare la tecnica dello strip tillage.

LA COLTIVAZIONE A STRISCE

Lo strip-till (abbreviazione di strip-tillage o coltivazione a strisce) permette di concentrare la lavorazione esclusivamente su "strisce" di terreno entro le quali avverrà la successiva operazione di semina della coltura mantenendo inalterata la superficie interfilare e senza modificare l'ordine degli strati. Per una corretta applicazione la tecnica, che ha efficaci ricadute dal punto di vista ambientale, occorre utilizzare specifiche macchine operatrici, definite strip-tiller, in grado di operare, in modo localizzato, una prima fase di taglio e spostamento del residuo colturale dalla futura linea di lavorazione e una successiva lavorazione sotto-superficiale e affinamento della stessa (fig. 1). Le bande di terreno, lavorate generalmente a profondità comprese tra 15 e 25 cm, presentano una



Fig. 1 Lo strip tillage si avvantaggia dei ricevitori satellitari e dei sistemi di guida semi-automatici ad alta accuratezza perché prevede ripetuti passaggi sempre sullo stesso percorso

larghezza pari a 15-20 cm e uno spazio interfilare variabile tra 40 e 75 cm a seconda delle esigenze della successiva operazione di semina.

Il terreno interessato dalla lavorazione è meno del 50% dell'intera superficie, la rimanente resta quindi inalterata e coperta dai residui della coltura precedente.

Questo consente al tempo stesso di prevenire i fenomeni erosivi, preservare l'umidità del suolo nell'interfila e favorire un veloce riscaldamento del terreno nella fascia lavorata.

Generalmente viene programmata una lavorazione in autunno e la ripresa in primavera per un ulteriore affinamento, oppure un solo intervento in primavera appena prima della semina, in funzione delle condizioni del terreno.

L'esigenza di ripercorrere a distanza di tempo la striscia lavorata al momento della semina o di un secondo intervento supplementare di affinamento rende necessario l'impiego di sistemi di guida semiautomatica dotati di correzione centimetrica (RTK) e di accurata ripetibilità.

LAVORAZIONI A PROFONDITÀ VARIABILE

Si parte dal presupposto che una variazione della profondità di lavoro anche di pochi centimetri permette di ottenere una forte riduzione degli input sia economici che energetici.

Sperimentazioni mirate alla messa a punto di un sistema per la variazione della profondità di lavoro sono state condotte sulla base delle caratteristiche fisiche dello strato di suolo interessato dall'intervento. Il principio consiste nell'effettuare la lavorazione solamente nelle zone caratterizzate da elevata densità o da evidente suola di lavorazione. Occorre quindi eseguire campionamenti con penetrometri (misuratori della compattezza degli strati) ed elaborare una mappa di prescrizione contenente le informazioni sulla profondità di lavoro da adottare in ognuna di esse sulla base dell'entità dello scostamento tra la resistenza alla penetrazione rilevata ed il limite scelto come livello di soglia.

La realizzazione in campo può essere portata a termine con i comuni coltivatori pesanti provvisti di alette supplementari oppure con macchine specifiche in grado di consentire un movimento verticale e quindi l'approfondimento degli organi di lavoro attraverso lo scostamento del telaio secondario rispetto a quello principale oppure con variazioni nella posizione del rullo posteriore per mezzo di martinetti idraulici comandati dall'unità di controllo del trattore (preferibilmente utilizzando il sistema "Isobus").

Il protocollo di comunicazione standardizzato implementato nei trattori e nelle operatrici agricole offre anche la possibilità di comandare le operatrici in modo indipendente e automatico senza il diretto intervento dell'operatore.

In questo contesto, particolari sensori geoelettrici ad induzione elettromagnetica sono in grado di individuare le differenze di densità nello strato superficiale del terreno e di determinarne la profondità. Questa informazione rilevata in tempo reale viene immediatamente immessa nella rete Isobus e ricevuta dal trattore che, a sua volta, aziona opportunamente il dispositivo di regolazione della profondità dell'operatrice (fig. 2).

LAVORAZIONI A INTENSITÀ VARIABILE NELLA PREPARAZIONE DEL LETTO DI SEMINA

Negli interventi di preparazione del letto di semina, l'operatore tende a non lesinare sull'intensità dell'intervento generando molto spesso un livello di affinamento eccessivo, arrecando danni alla struttura del suolo con effetti



Fig. 2 I sensori geoelettrici ad induzione elettromagnetica riescono ad individuare anche gli strati di terreno a diversa densità. Alcuni di questi, compatibili con l'Isobus del trattore, sono in grado di comunicare in tempo reale con la macchina operatrice (foto Geoprospectors)

controproducenti dal punto di vista economico ed energetico e anche per l'accrescimento/sviluppo della stessa coltura.

Gli erpici azionati dalla presa di potenza sono macchine che consentono di ottenere un sufficiente amminutamento del terreno anche nelle condizioni più difficili, ma presentano un elevato costo energetico, una certa lentezza di lavoro e, a seconda dei tipi, una tendenza a sminuzzare troppo le zolle, talvolta sino a danneggiare la struttura del terreno con pericolose conseguenze non solo dal punto di vista ambientale (erosione) ma anche sulla germinabilità del seme. Per questi motivi, sebbene in alcuni casi il loro impiego possa rivelarsi indispensabile, sono attrezzature da usare con oculatezza e in momenti particolari.

La possibilità di effettuare un monitoraggio continuo della qualità di lavoro, grazie all'impiego di sensori specifici, con conseguente correzione automatica delle impostazioni dell'operatrice può rappresentare una potenzialità nell'ambito della preparazione del letto di semina.

Una realizzazione recentemente presentata sul mercato italiano consente tutto questo perché l'erpice viene equipaggiato con i seguenti sensori (fig. 3):

- sensore di orizzontalità del corpo macchina per garantire il parallelismo col suolo;

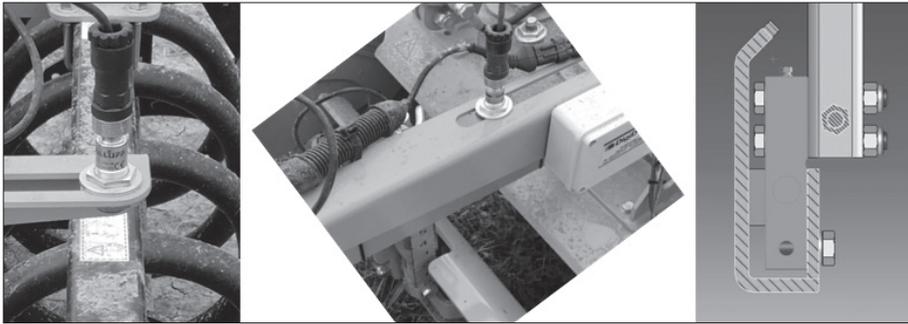


Fig. 3 I sensori applicabili sull'erpice rotante per aumentarne la sensibilità: nell'ordine sensore ultrasonico per il rullo e per la barra e cella di carico applicata sulla barra livellatrice

- cella di carico sulla lama livellatrice per la determinazione della forza esercitata dalle zolle;
- sensore ad ultrasuoni per la determinazione dell'altezza della lama rispetto al terreno
- sensore ad ultrasuoni sul rullo per la determinazione della profondità istantanea di lavoro.

Una centralina elettronica raccoglie i dati e attraverso un software dedicato visualizza i parametri rilevati e elabora informazioni per ottenere la lavorazione desiderata.

Le informazioni riguardano la velocità di avanzamento e la profondità di lavoro che viene regolata dal posto di guida tramite attuatore idraulico e consente all'utilizzatore di decidere il grado di affinamento del terreno nel rispetto delle esigenze agronomiche e nell'ottica della razionalizzazione dei consumi energetici e dell'ottimizzazione della potenza assorbita.

Tali correlazioni sono la base per rendere la macchina "meccatronica" e lavorare con la massima efficienza senza superare i limiti legati all'eccessivo affinamento del terreno.

BIBLIOGRAFIA

MARINELLO F., PEGORARO F., SARTORI L. (2020): *Sensors and Electronic Control Unit for Optimize Rotary Harrow Soil Tillage Operation*, in *Lecture Notes in Civil Engineering*, vol. 67, pp. 509-517, Springer, ISBN: 978-3-030-39298-7, ISSN: 2366-2557, doi: 10.1007/978-3-030-39299-4_57.

MORRIS N.L., MILLER P.C.H., ORSON J.H., FROUD-WILLIAMS R.J. (2010): *The adoption of non-inversion tillage systems in the United Kingdom and the agronomic impact on soil, crops and the environment. A review*, «Soil & Tillage Research», 108, pp. 1-15.

- PEZZUOLO A. (2013): *Sostenibilità e produttività con lo strip-tillage*, «L'Informatore Agrario», 26, pp. 36-39.
- SARTORI L., MARINELLO F., PEZZUOLO A., TAROLLI P. (2016): *Lavorazioni variabili del terreno e semina a dose variabile*, in *Agricoltura di precisione*, a cura di Raffaele Casa, Edagricole - New Business Media srl, Bologna, pp. 229-247, ISBN: 9788850655106.
- TREVINI M., BENINCASA P., GUIDUCCI M. (2013): *Strip tillage effect on seedbed tith and maize production in Northern Italy as case-study for the Southern Europe environment*, «Europ. J. Agronomy», 48, pp. 50-56.

P. MANNINI¹, G. CHIARI¹

Irriframe: gestione dell'irrigazione tramite consiglio irriguo personalizzato

¹ Consorzio Bonifica di Secondo grado per il Canale Emiliano-Romagnolo

Che cosa è: si tratta di un sistema esperto per gestire l'irrigazione. Indica con precisione il giorno in cui effettuare l'irrigazione e il quantitativo d'acqua da distribuire su ciascun appezzamento. È basato sui risultati di 50 anni di studi e ricerche sulle relazioni tra piante e acqua e la gestione sostenibile dell'irrigazione. Il servizio è messo a punto dal Consorzio di Bonifica Emiliano Romagnolo (<http://www.consorziocer.it/it/>), e dal 2012 l'Associazione Nazionale delle Bonifiche lavora per diffondere questo sistema su scala nazionale.

Il servizio è gratuito, di facile fruizione, ed è basato su piattaforma WEB e



Irriframe
IL PORTALE DELL'IRRIGAZIONE

ABI

Creazione nuovo utente

Email (*)

Password (*)

Nome (*)

Cognome (*)

Cellulare
SOLO numeri SENZA spazi

Regione ▼

Consorzio prevalente (*) ▼

sul GIS. Esso fornisce consigli irrigui per una grande quantità di colture che necessitano di irrigazione.

Accedere al servizio è facile attraverso il link:

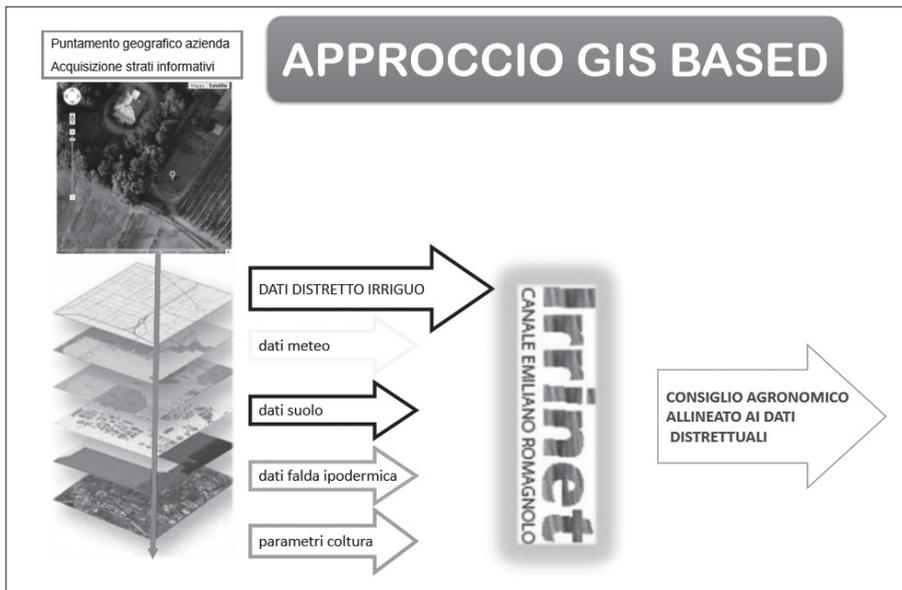
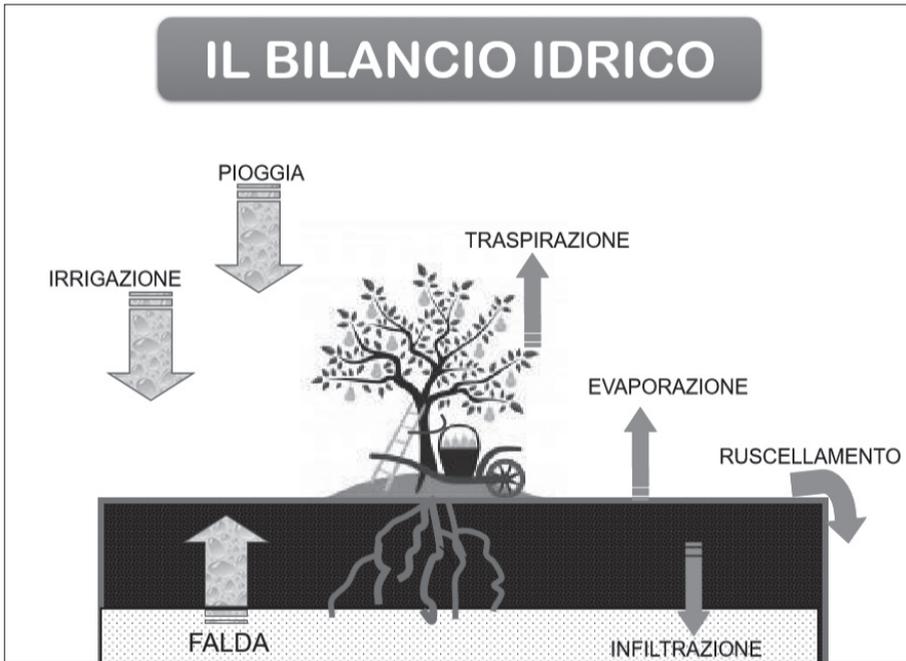
<https://www.irriframe.it/irriframe/user/new>

I consigli si basano su diverse sorgenti di dati, come i dati meteorologici e di suolo forniti dai servizi locali, eventuali dati raccolti dall'agricoltore stesso, ove e se disponibili (tramite sensori di umidità del suolo, stazioncine meteo, immagini da droni ecc.) e parametri specifici già definiti per ogni coltura.

In base alla integrazione dei dati, viene calcolato il bilancio idrico, per ogni coltura e per ogni appezzamento viene prodotta la strategia più efficace di irrigazione.

Oltre alle colture arboree da frutto, vite e actinidia incluse, il servizio è attivo per le ortive, per il mais e altre colture erbacee da pieno campo.

Gli obiettivi produttivi sono: massimizzare la resa, massimizzare la qualità, massimizzare la produzione quando le risorse idriche non sono sufficienti per tutta la stagione irrigua.



CONSIGLIO IRRIGUO

CRUSCOTTO IRRIGUO di IriFrame

Il cruscotto permette di tenere sotto controllo le esigenze irrigue di tutti gli appezzamenti registrati e di accedere con pochi click alle diverse funzionalità del sistema

Aziende/Appezzamenti Creazione guidata nuovo appezzamento/coltura >

CONSORZIO BONIFICA RENANA Assistenza >

Az. Agr. Bau >

Descr	consumo oggi (mm)	data prevista irrigazione	volume irriguo (mm)	durata irrigazione (ore:minuti)
ALBICOCCO	3,96	Oggi	16,2	202

CONSORZIO DI BONIFICA ADIGE PO Assistenza >

Azienda non assegnata

Descr	consumo oggi (mm)	data prevista irrigazione	volume irriguo (mm)	durata irrigazione (ore:minuti)
PATATA	4,06	Oggi	16,3	1300

Localizzazione appezzamenti

COLTURA (linked to PATATA)

ESIGENZA IDRICA (linked to consumo oggi)

QUANTO IRRIGARE (linked to volume irriguo)

QUANDO IRRIGARE (linked to data prevista irrigazione)

CONFERMA IRRIGAZIONE (linked to Ho irrigato >)

IriSMS

Il servizio IRRIFRAME è accessibile sia da Internet che tramite messaggi SMS inviati automaticamente al cellulare dell'agricoltore aderente.

In tal modo il consiglio irriguo personalizzato risulta facilmente fruibile da tutti gli agricoltori.

→

SMS

I dati personalizzati su quando e quanto irrigare per ogni coltura e ogni appezzamento arrivano direttamente sul cellulare.

Risultati ottenuti fino ad ora: nel 2019 circa 16.000 aziende agricole irrigate, 32.000 parcelle hanno adottato IRRIFRAME, consentendo risparmi di oltre 100 Milioni di m³ di acqua.

Perché usare questa innovazione: è un sistema semplice, gratuito e offre informazioni pressoché per tutte le frutticole e le ortive. Si può integrare con i propri dati di campo (centraline meteo, sensori di umidità) per una sua completa personalizzazione.

BIBLIOGRAFIA

MANNINI P., GENOVESI R., LETTERIO T. (2013): *IRRINET: large scale DSS application for on-farm irrigation scheduling*, Congress “Four Decades of Progress in Monitoring and Modeling of Processes in the Soil-Plant-Atmosphere System: Applications and Challenges” Napoli, Procedia Environmental Science, Elsevier.

P. TOSCANO¹

AGROSAT la piattaforma web open per la community Agricoltura 4.0

¹ CNR-Istituto per la BioEconomia

CHE COS'È L'AGRICOLTURA DI PRECISIONE?

L'agricoltura di precisione è uno strumento fondamentale per la gestione spaziale e temporale della variabilità legata agli aspetti della produzione agricola in relazione alle reali necessità della coltura in campo (Pierce e Nowak, 1999). In buona sintesi l'agricoltura di precisione permette di fare la cosa giusta al momento giusto e nel posto giusto! Le aziende agricole che hanno adottato tecniche di agricoltura di precisione (il 20% in Europa e l'80% negli USA) producono di più e meglio, spendendo meno e riducendo l'impatto sull'ambiente, coniugando finalmente redditività e sostenibilità. In Italia l'impiego di tecnologie legate all'agricoltura di precisione si attesta all'1% (con l'obiettivo del 10% entro il 2021) e, fatta eccezione per colture ad alto reddito, fino a poco tempo fa non erano disponibili servizi efficaci e commercialmente sostenibili per le colture a reddito inferiore. Cereali su tutti.

In quest'ottica l'Istituto per la BioEconomia del CNR di Firenze e Foggia in collaborazione con Barilla G. e R. Fratelli S.p.A. ha realizzato AgroSat (<https://agrosat.it>), un servizio completamente gratuito e accessibile da qualsiasi dispositivo, in grado di supportare l'agricoltore nella gestione dell'acqua, dei fitofarmaci e dei fertilizzanti attraverso tecniche di agricoltura di precisione. Il primo grande risultato della piattaforma AgroSat si è concretizzato nel sostegno ai produttori cerealicoli del territorio nazionale fornendo un quadro dettagliato della variabilità temporale di biomassa in campo e l'elaborazione di mappe di prescrizione per la concimazione mediante spandiconcime a rateo variabile.

Ma non solo. Consci del fatto che solo poche aziende hanno attualmente acquistato mezzi meccanici di ultima generazione, AgroSat per-



Perché AgroSat?

Le nuove tecnologie stanno trasformando il modo di fare agricoltura, ma i costi, la mancanza di formazione e protocolli standard costituiscono un ostacolo soprattutto per le piccole imprese agricole. Crediamo che una piattaforma open e gratuita per l'accesso rapido e preciso a dati ed informazioni possa aiutarvi a trasformarli, con la vostra esperienza, in conoscenza. AgroSat combina tecnologie digitali (IoT e Big Data) e prodotti della ricerca scientifica per creare una connessione diretta tra ricerca, aziende ed imprenditori agricoli.

Insieme proviamo a rendere migliore, più efficiente e sostenibile la vostra gestione agronomica.



mette di navigare le mappe di prescrizione così da abilitare in tempo reale una prima razionalizzazione delle concimazioni anche per chi lavora con trattatrici tradizionali: sarà sufficiente un comune smartphone o tablet per monitorare la propria posizione sulla mappa e dosare il rilascio in base a quanto prescritto.

L'applicazione web di AgroSat ha una struttura di navigazione estremamente semplice ed intuitiva, adatta agli agricoltori ed a tutti gli operatori del settore.

Per prima cosa è necessario trovare il proprio campo (tramite indirizzo o, per chi si trova in campo, abilitando la propria posizione GPS) e disegnarne i limiti tracciando un poligono.

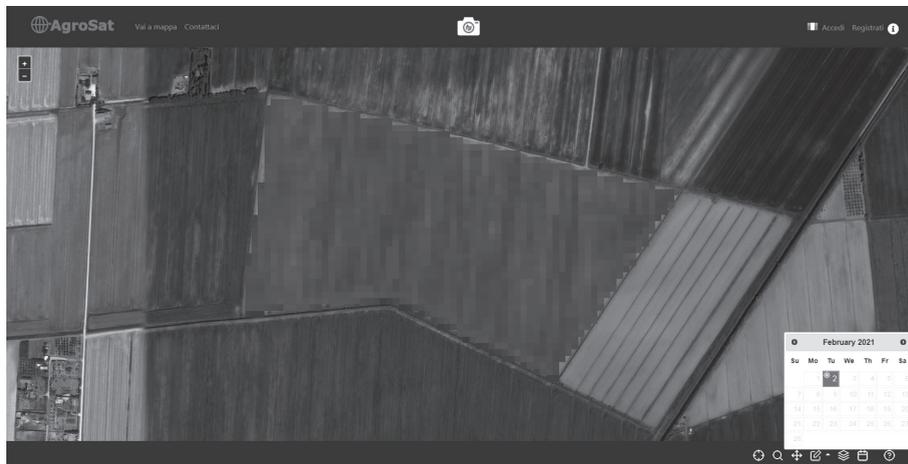
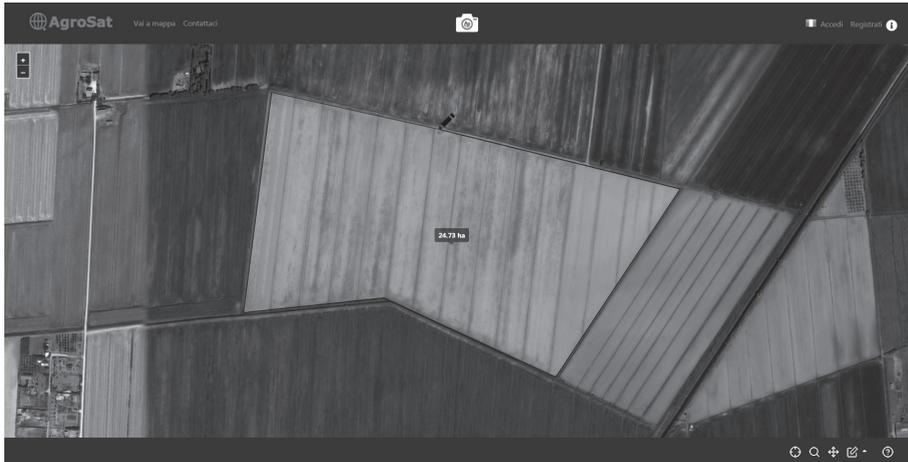
Pochi secondi e comparirà l'ultima immagine acquisita da satellite relativa al proprio campo (immagine in colore naturale), necessaria per ottenere le indicazioni relative alla concimazione da eseguire.

Inoltre è possibile valutare lo storico dello stato vegetativo del proprio campo selezionando il calendario e scegliendo tra le date disponibili la mappa di vigore del periodo di interesse.

Procedendo, AgroSat fornisce la scelta tra 4 differenti prodotti scaricabili:

- lo stato vegetazionale della coltura;
- la resa potenziale;
- la mappa di stress idrico;
- il modulo per le concimazioni di precisione.

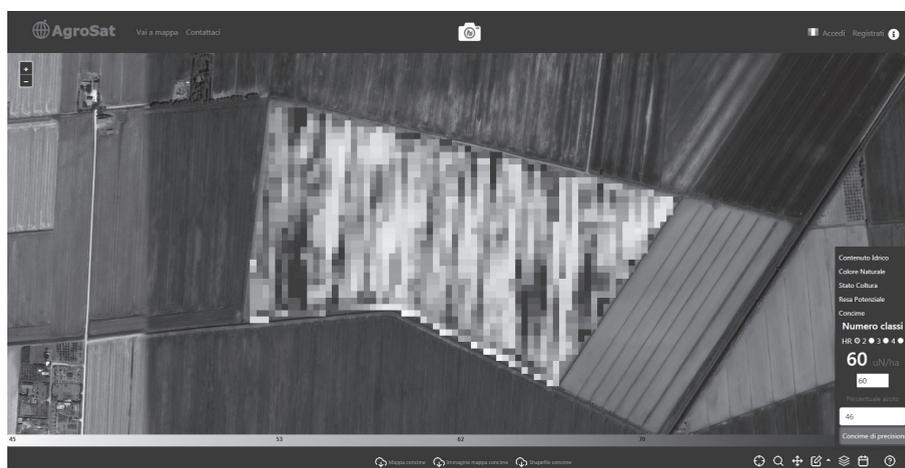
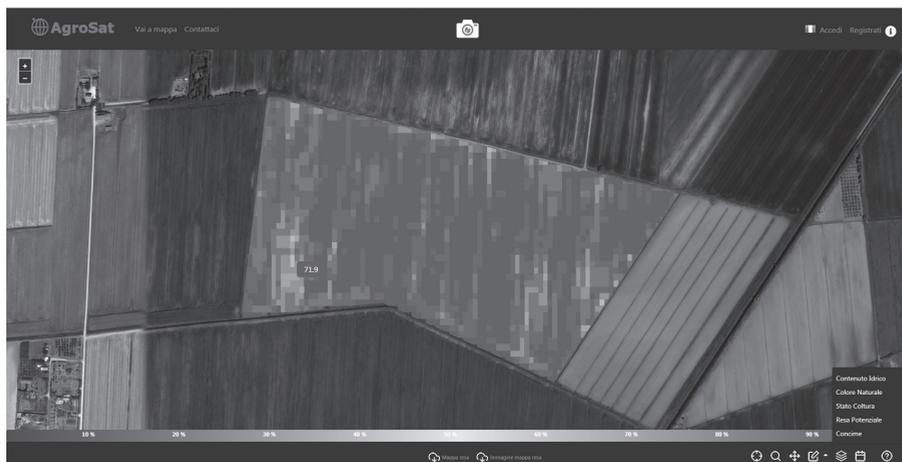
Quest'ultimo AgroSat consente di ottimizzare la distribuzione dei fertilizzanti in campo, basandosi sull'indicazione da parte dell'utente del quanti-



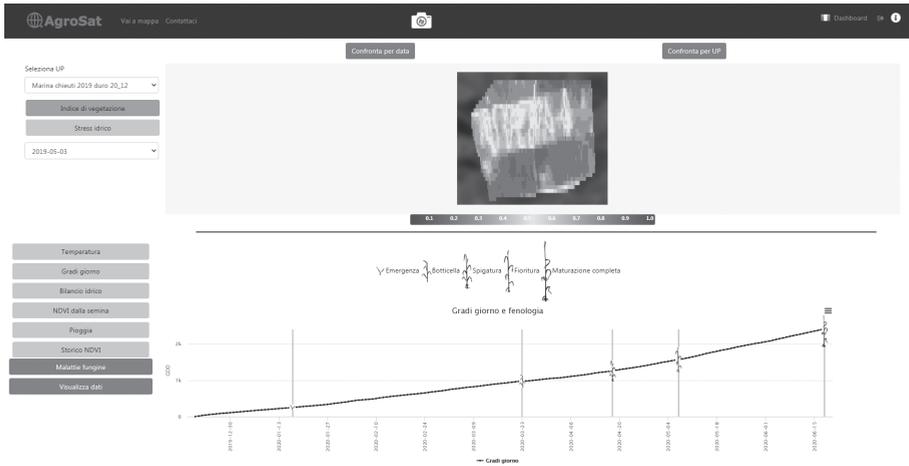
tativo complessivo che si intende somministrare in termini di unità di azoto per ettaro.

Utilizzando questi prodotti sarà possibile risparmiare tempo, carburante e denaro. Tutto questo è possibile grazie alla disponibilità di dati satellitari, acquisiti dalle piattaforme ESA Sentinel-2A e Sentinel-2B del programma europeo di osservazione della Terra, denominato Copernicus, e grazie al lavoro di continuo sviluppo dei ricercatori IBE-CNR.

Nuove funzionalità sono da oggi disponibili per rendere più intuitiva e performante la piattaforma. In primo luogo la possibilità di creare un profilo utente gratuito in cui salvare più appezzamenti e gestirli come differenti



Unità Produttive (UP). Per ognuna di esse è possibile valutare lo stato della coltura e la resa potenziale, ma anche la mappa di stress idrico. Inoltre, l'utente potrà visionare ed esportare la mappa di concimazione di precisione sia in alta risoluzione sia classificata. Per ciascuna UP registrata nel profilo utente, sono disponibili previsioni meteo a 5 giorni e, ove presenti, i dati meteo osservati dalla stazione meteo più vicina. Inoltre è garantita la possibilità di visualizzare i dati eseguendo analisi su intervalli di tempo specifici, applicare filtri e creare report di sintesi. L'ambiente studio permette di visualizzare, con l'inserimento del quaderno di campagna, tutte le mappe disponibili per le UP create, abilita il confronto temporale per la singola UP così come il



confronto tra più UP. Per le UP complete di quaderno di campagna e osservazioni agrometeorologiche è possibile valutare lo stato fenologico, il bilancio idrico, lo storico dell'indice di vegetazione multiplatforma, l'andamento delle temperature, la cumulata di pioggia per l'annata agraria ed il confronto con le medie storiche.

Altre funzionalità a supporto dell'utente sono un blocco note su cui registrare informazioni sulla gestione agronomica della UP e un servizio di messaggistica per l'invio di informazioni utili agli agricoltori (es. allerte meteo, difesa, comunicazioni regionali). Attenzione è stata posta infine sulla tracciabilità di filiera. In questa direzione, AgroSat implementa un sistema proprietario di geotracciabilità, che sfrutta tecnologia barcode per vincolare ciascuna UP al seme certificato e successivamente al conferimento della granello prodotta.

È attualmente in fase di progettazione l'estensione del servizio AgroSat anche ad altre colture di interesse strategico per il settore produttivo Italiano.

Per maggiori informazioni: <https://www.agrosat.it/it/info>

BIBLIOGRAFIA

AMBROSONE M., MATESE A., DI GENNARO S.F., GIOLI B., TUDOROIU M., GENESIO L., MIGLIETTA F., BARONTI S., MAIENZA A., UNGARO F., TOSCANO P. (2020): *Retrieving soil moisture in rainfed and irrigated fields using Sentinel-2 observations and a modified*

- OPTRAM approach*, «International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation», Elsevier.
- TOSCANO P., CASTRIGNANÒ A., DI GENNARO S.F., VONELLA A.V., VENTRELLA D., MATESE A. (2019): *A precision agriculture approach for durum wheat yield assessment using remote sensing data and yield mapping*, Agronomy, MDPI.
- TOSCANO P., RANIERI R., MATESE A., VACCARI F.P., GIOLI B., ZALDEI A., SILVESTRI M., RONCHI C., LA CAVA P., ROY PORTER J., MIGLIETTA F. (2011): *Durum wheat modeling: The Delphi system, 11 years of observations in Italy*, «European journal of agronomy», Elsevier.

E. MARGHERITI¹

Una tecnologia innovativa per la pre-coltivazione di piantine forestali, con possibili sviluppi anche nel campo della agricoltura

¹ Vivai Torsanlorenzo, Roma

Il progetto europeo Zephyr ha sviluppato una nuova unità di crescita a impatto prossimo allo zero¹ per la pre-coltivazione di piantine forestali: un ambiente controllato sostenibile in cui le piante possono crescere, a partire dai semi, in un vivaio robotizzato. Il continuo movimento di vassoi con “mini-contenitori” garantisce un ambiente medio (luce, temperatura e umidità) uguale per ogni pianta, quasi impossibile da ottenere con normali camere di crescita.

L'ambiente controllato consente una crescita ottimale senza fertilizzanti e pesticidi, mentre speciali lampade a LED forniscono spettri specifici per i vari tipi di piantine. Un'altra innovazione del progetto Zephyr è la progettazione e lo sviluppo di nuovi sensore per i parametri del suolo e per un sistema ottico stereoscopico con analisi delle immagini digitali. L'unità di crescita è composta da:

- 10 ripiani a rotazione continua; ogni scaffale può contenere 2 vassoi di plastica di dimensioni 53 x 31,5 cm;
- un sistema di aria condizionata;
- un sistema di irrigazione;
- un binario per il movimento orizzontale del braccio robotico che trasporta telecamere stereoscopiche e una pinza a tre dita.

Uno dei punti di forza del sistema Zephyr è la uniformità dell'ambiente: nelle attuali camere e serre “statiche”, le piantine rimangono nello stesso punto per lunghi periodi di tempo, e alcune sono quindi più vicine ai componenti chiave, come lampade e dispositivi di raffreddamento, rispetto ad altre.

¹ L'impatto “prossimo allo zero” è riferito al sistema inserito in un container alimentato da pannelli fotovoltaici come mostrato in figura 8, completamente autosufficiente dal punto di vista energetico e con riciclo dell'acqua di irrigazione. Nel caso di impianto fisso collegato alla rete si dovrà ovviamente tenere conto del consumo di elettricità.

The travelling greenhouse

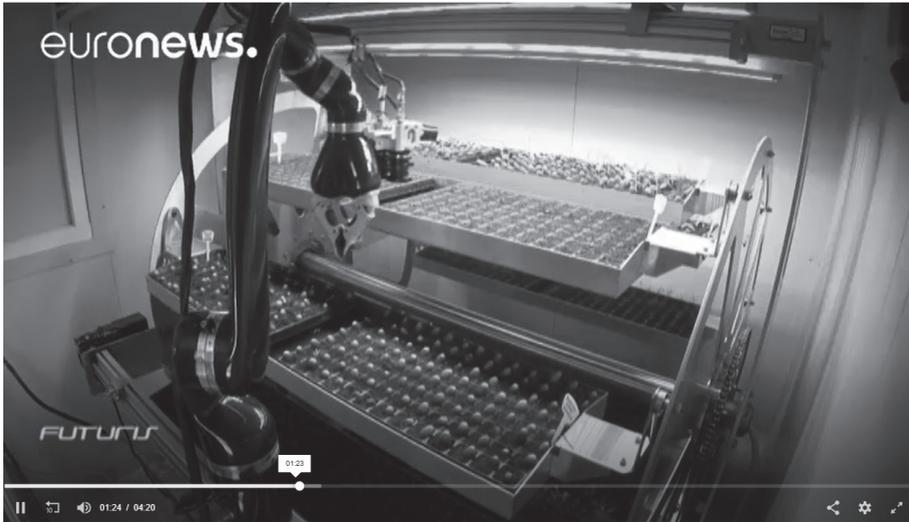


Fig. 1 L'unità ZEPHYR in funzione ripresa da Euronews; il video è disponibile su <https://it.euronews.com/2016/05/16/una-serra-che-viaggia>

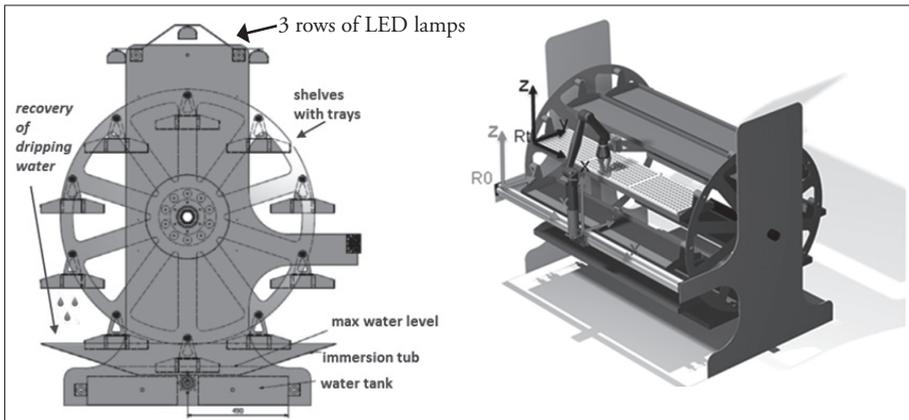


Fig. 2 Schema dell'unità ZEPHYR

Nell'unità Zephyr, grazie alla continua rotazione dei vassoi, tutte le piantine beneficiano delle stesse quantità di luce, umidità e calore. Le piantine vengono posizionate su vassoi rotanti, a turno nei punti migliori. Il sistema produce così piantine di qualità costante, con un apparato radicale ben sviluppato e

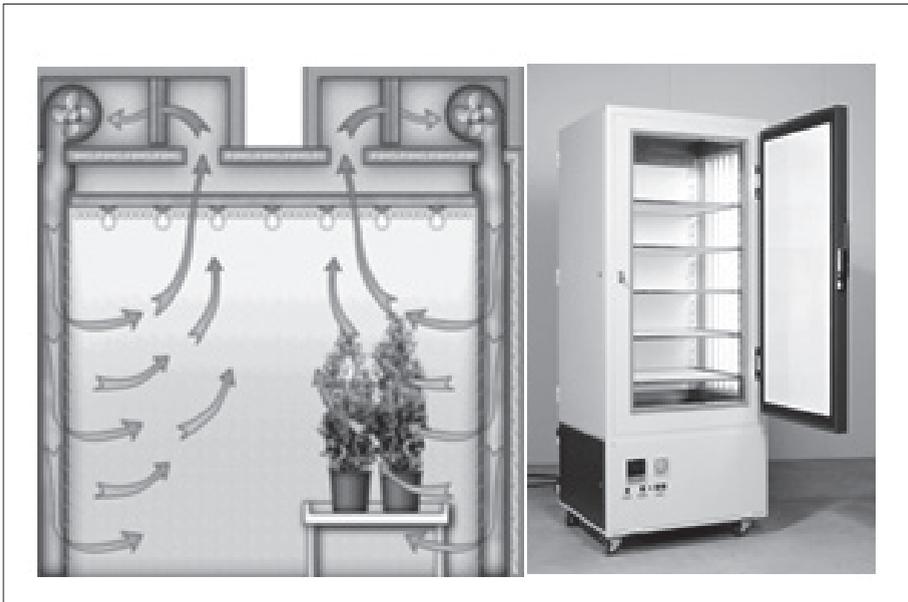


Fig. 3 Circolazione dell'aria in una unità di crescita di tipo tradizionale



Fig. 4 Il braccio robotico con la telecamera stereoscopica

quindi adeguato a sopravvivere dopo il trapianto. Un braccio robotico è in grado di posizionare la telecamera stereoscopica in modo da riprendere singolarmente ogni piantina (l'unità è in grado di gestire oltre 2000 piantine in un

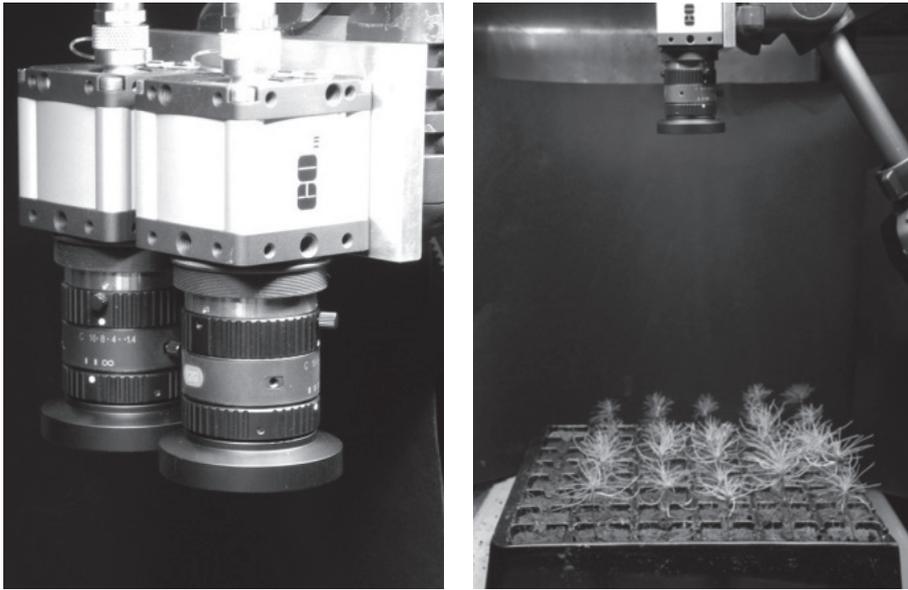


Fig. 5 La “massa verde” rilevata automaticamente dal sistema

singolo ciclo) e la pinza incorporata può eseguire alcune semplici operazioni. Queste innovazioni consentono un monitoraggio e un controllo completamente automatizzati, anche da remoto, con una richiesta di potenza media di soli 1,45 KW.

La telecamera stereoscopica è in grado di scattare foto di ogni piantina del sistema, utilizzando come riferimento la griglia dei mini-vasi, insieme al numero dello scaffale. Il braccio ha anche una pinza manipolatrice comandabile a distanza.

Un ulteriore punto di forza dell'unità Zephyr è la sostituzione delle sorgenti luminose convenzionali con l'uso di luci LED che hanno un consumo di energia molto ridotto, una minore emissione di calore e una durata notevolmente superiore. Nel concetto di coltivazione intensa, la possibilità di utilizzare i LED invece di altra luce artificiale contribuisce a importanti vantaggi economici e ambientali. È più efficiente in termini di costi, migliora la gestione sostenibile della produzione forestale e contribuisce alla protezione ambientale attraverso un notevole risparmio energetico. Inoltre, lo spettro specifico selezionato per l'unità ZEPHYR riduce i picchi rosso-blu tipici presenti nelle tradizionali lampade a LED e consente una distribuzione ottimale delle frequenze. Un'altra innovazione del progetto Zephyr consiste nello sviluppo di sensori wireless per



Fig. 6 *Le tre file di LED speciali ad ampio spettro*

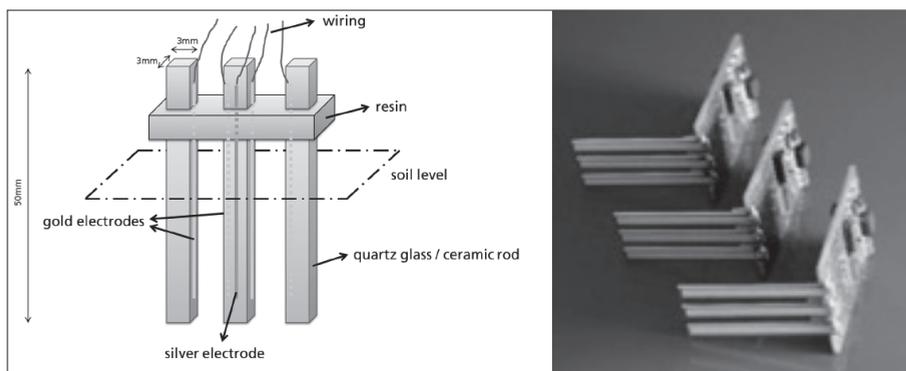


Fig. 7 *I sensori wireless*

misurare i parametri del suolo (contenuto d'acqua e concentrazione di ioni, tramite misure di capacità e conducibilità elettrica) dove vengono coltivate le piantine.

L'unità Zephyr consente di risparmiare spazio e energia, con un consumo medio giornaliero di elettricità di 1,45 KW (carico massimo totale 1,9 KW) per la pre-coltivazione simultanea in 20 vassoi (10 ripiani che trasportano 2 vassoi ciascuno).

Al fine di mostrare un consumo così basso in diverse fiere ed esposizioni, l'unità di crescita è stata collocata in un contenitore TEU standard e com-

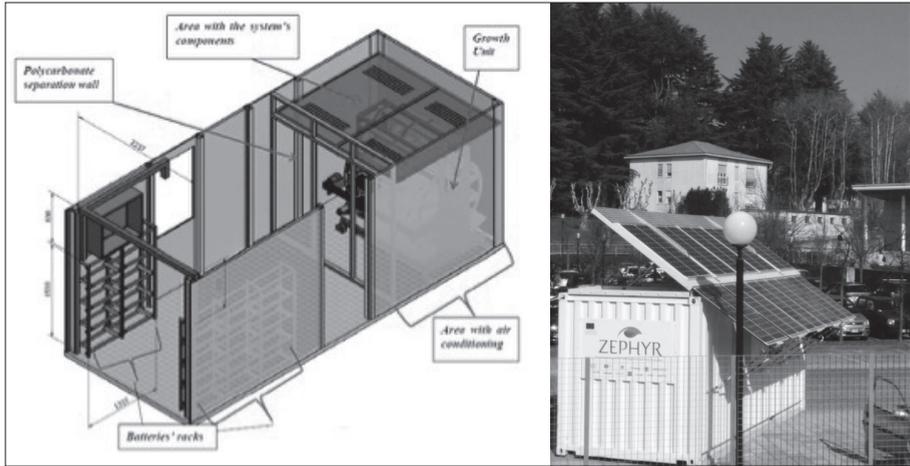


Fig. 8 L'unità autonoma ZEPHYR: schema interno e prototipo funzionante

pletamente alimentata con 20 pannelli fotovoltaici posizionati in un sistema pieghevole sul tetto del contenitore. Il sistema consente un normale trasporto via camion conforme alle regole del trasporto su strada.

La ricerca effettuata ha dimostrato che le piantine prodotte dall'unità Zephyr sono di migliore qualità, hanno un tasso di sopravvivenza più elevato dopo il trapianto e possono essere facilmente certificate.

I vantaggi del sistema Zephyr rispetto alle serre ordinarie:

- produzione per unità di superficie 5 volte superiore a quella di una serra convenzionale;
- risparmio energetico 85%;
- risparmio di tempo 74%;
- risparmio idrico dato dal recupero e dal riutilizzo dell'acqua in eccesso;
- si evita l'uso di erbicidi e pesticidi;
- si possono effettuare fino a 11 cicli di crescita all'anno;
- effettiva uniformità delle condizioni medie di crescita;
- possibilità di aggiungere diversi attuatori ad alta tecnologia per un ciclo di crescita automatico completo, completamente monitorato e controllato da remoto.

Il sistema ZEPHYR è modulare e quindi estremamente flessibile: in caso di produzioni elevate si possono disporre i più unità rotanti che lavorano in parallelo. La possibilità di inserire una singola unità in un container standard TEU energeticamente indipendente e trasportabile (come quello realizzato nell'ambito del progetto Zephyr e mostrato in figura 8) consentono la precoltivazione anche in aree remote e non connesse alla rete elettrica.



(ZEro-impAct innovative tecHnologY in foRest plant production)



This project has received funding from the European Union's Seventh Framework Programme for research, technological development and demonstration under grant agreement No 308313














Maggiori informazioni su

http://www.cs-europe.eu/zephyr%20_%20home.html

Tecnologie alimentari

E. MARCONI¹, M. CARCEA²

Proposta per la Filiera cerealicola, sezione trasformazione

¹ Università del Molise

² CREA

PRIMA TRASFORMAZIONE IN AZIENDA DI GRANELLA DI ORZO AD ALTO CONTENUTO DI BETA-GLUCANI

L'orzo è coltivato in massima parte per l'alimentazione zootecnica (orzo polistico) e per la trasformazione in malto (orzo distico). Negli ultimi anni c'è stato un significativo incremento dell'utilizzo dell'orzo per l'alimentazione umana in quanto la granella contiene i beta-glucani composti bioattivi (appartenenti alla fibra alimentare) utili nel controllo di glicemia e colesterolemia. Per tale motivo si sono sviluppati e affermati sul mercato diversi alimenti funzionali a base di orzo (pasta, couscous, biscotti).

Gli alimenti funzionali sono alimenti caratterizzati da effetti addizionali dovuti alla presenza di componenti (generalmente non nutrienti), naturalmente presenti (o aggiunti) che interagiscono più o meno selettivamente con una o più funzioni fisiologiche dell'organismo (biomodulazione) portando ad effetti positivi sul mantenimento della salute e/o prevenzione delle malattie.

I beta-glucani nell'orzo rappresentano circa il 70% dei componenti della parete delle cellule dell'endosperma amilifero. Per la loro composizione e struttura e per la capacità di assorbire acqua e gelificare possono avere effetti benefici sul metabolismo lipidico (con particolare riferimento all'azione ipocolesterolemizzante), sul metabolismo glucidico (riduzione indice glicemico) e sul senso di sazietà. Queste proprietà sono state riconosciute dall'European Food Safety Authority (EFSA) che ha ammesso, per i prodotti a base di orzo che apportano almeno 1 g beta glucani/porzione, l'utilizzo del claim salutistico (Reg. UE 432/2012): «i beta glucani contribuiscono al mantenimento di livelli di colesterolo nel sangue».

Sono state pertanto selezionate alcune varietà di orzo ad alto contenuto di beta glucani (> 6%) per l'ottenimento di granella perlata e sfarinati da impiegare per la produzione di alimenti funzionali (pasta, pasta fresca, pane, biscotti, taralli, cereali da colazione etc).

Al fine di consentire alle aziende agricole e ai coltivatori di conseguire ricavi superiori a quelli derivanti dalla semplice commercializzazione della granella di orzo può risultare vantaggioso procedere a una prima trasformazione in azienda mediante operazioni di perlatura, decorticazione/macinazione per ricavare granella perlata e sfarinati ad alta valenza dietetico-nutrizionale; tali prodotti possono essere valorizzati con la vendita diretta in azienda o sul mercato elettronico con un significativo incremento del valore/prezzo rispetto alla granella non processata.

Schema per l'ottenimento di granella perlata e sfarinati di orzo ad alta valenza dietetico nutrizionale (beta glucani):

- i. Coltivazione di orzo distico ad alto contenuto di beta glucani (> 6%) con input agronomici normalmente utilizzati per la coltivazione dell'orzo
- ii. Sbramatura dell'orzo con impianto di sbramatura (sbramino)(nel caso di orzo vestiti)
- iii. Decorticazione della granella di orzo (con impianto di decorticazione) per allontanare circa il 10 % delle parti periferiche della cariosside nuda/svestita
- iv. Granella perlata da destinare alla produzione di zuppe con proprietà funzionali/salutistiche per la presenza di quantità appropriate di beta glucani
- v. Macinazione della granella perlata per ottenere sfarinati ricchi di beta glucani
- vi. Scarti di sbramatura da utilizzare per alimentazione zootecnica (poligastri)
- vii. Scarti di perlatura da utilizzare per alimentazione zootecnica o umana.
- viii. Vendita diretta di orzo perlato e sfarinati di orzo funzionali (con beta glucani) da utilizzare come ingrediente per la preparazione di pane, pasta, pasta fresca, couscous, biscotti, tozzetti funzionali/salutistici ai sensi del Reg. UE 432/2012.

BIBLIOGRAFIA

- CUBADDA R., MARCONI E. (2008): *Sviluppo di alimenti funzionali a base di cereali arricchiti con beta glucani dell'orzo: una rassegna*, «Ingredienti Alimentari», 36, pp. 6-13.
 MARCONI E., GRAZIANO M., CUBADDA R. (2000): *Composition and utilization of barley*

- pearling by-products for making functional pastas rich in beta glucans*, «Cereal Chemistry», 77, pp. 133-139.
- MARCONI E. (2015): *Impiego di sfarinati di orzo per lo sviluppo di alimenti funzionali*, «I Georgofili. Atti della Accademia dei Georgofili», pp 261-267.
- MESSIA M.C., ORIENTE M., ANGELICOLA M., DE ARCANGELIS E., MARCONI E. (2019): *Development of functional couscous enriched in barley beta glucans*, «Journal of Cereal Science», 85, pp. 137-142.
- MESSIA M.C., DE ARCANGELIS E., CANDIGLIOTA T., TRIVISONNO M.C., MARCONI E. (2020): *Production of beta glucan enriched flour from waxy barley*, «Journal of Cereal Science» (in press).

M. D'IMPERIO¹, P. SANTAMARIA², F. SERIO¹

Dalla biofortificazione l'alimentazione personalizzata

¹ Istituto di Scienze delle Produzioni Alimentari, Consiglio Nazionale delle Ricerche

² Dipartimento di Scienze Agro-Ambientali e Territoriali, Università degli Studi di Bari Aldo Moro

La biofortificazione è il processo che consente di migliorare la qualità nutrizionale di una pianta o di una porzione di essa. Può essere ottenuta attraverso l'incremento di fattori nutrizionali – organici e/o minerali – introdotti nella pianta con diverse tecniche, oppure mediante la riduzione dei fattori anti-nutrizionali naturalmente presenti nei vegetali, come ad esempio i fitati e gli ossalati che possono ridurre l'assorbimento di calcio, ferro e zinco a livello intestinale. La produzione di prodotti biofortificati può essere ottenuta con tecniche di ingegneria genetica, manipolando il genoma della specie vegetale di interesse, attraverso sistemi convenzionali di miglioramento genetico delle piante (*conventional plant breeding*) e con approcci di tipo agronomico, utilizzando la concimazione e i sistemi di coltivazione senza suolo (fig. 1).

Indipendentemente dal metodo utilizzato, solo con un approccio multidisciplinare è possibile “misurare” il valore nutrizionale dei prodotti biofortificati. Con l'applicazione di protocolli *in vitro* e/o *in vivo* in grado di valutare fondamentali parametri nutrizionali come la bioaccessibilità (quantità di un nutriente rilasciata nel tratto gastro intestinale durante processo di digestione *in vitro*) e la biodisponibilità (quantità di un nutriente assorbita nel tratto gastro-intestinale), la ricerca oggi è in grado di valutare la reale efficacia del prodotto biofortificato (D'Imperio et al., 2016; 2016b; 2017; Gonzali et al, 2017; Piątkowska et al., 2016).

Tra gli esempi di successo attualmente presenti sul mercato si annoverano patate, carote e cipolle arricchite in selenio (Selenella, Consorzio Patata Italiana di Qualità), patate arricchite in iodio (Iodì, gruppo Pizzoli), nonché prodotti “nickel-free” e/o senza istamina e metalli pesanti.

La nuova frontiera della biofortificazione è rappresentata dalla nutrizione su misura delle piante, finalizzata ad ottenere prodotti destinati a specifiche

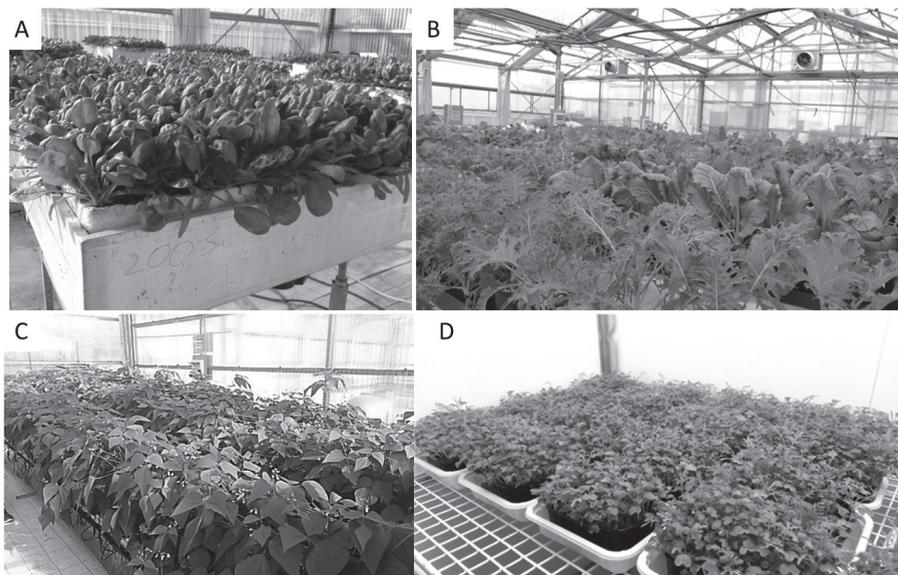


Fig. 1 *Coltivazione senza suolo e produzione di ortaggi biofortificati. A) e C) spinacio e fagiolino biofortificati in silicio; target consumatori: donne in fase di premenopausa; B) e D) genotipi di brassicacee e microgreens biofortificati in iodio; target nutrizionale: soggetti con carenza nell'assunzione di iodio*

fasce di popolazione: parliamo in questo caso di *tailored food* (letteralmente *alimenti su misura*). I sistemi di coltivazione senza suolo sono ideali per ottenere questo risultato, perché permettono di gestire in maniera precisa e appropriata la nutrizione delle piante, modulando l'accumulo di elementi minerali (calcio, iodio, zinco, selenio, silicio, ferro, ecc.) utili per la salute umana (D'Imperio et al., 2016, 2016b; Ferrarese et al., 2012; Giordano et al., 2019; Gonnella et al., 2019; Montesano et al., 2016; Pannico et al., 2020; White et al., 2018;) o, eventualmente, dannosi per soggetti con specifiche dismetaboliche: tipico è il caso della riduzione di potassio che è possibile ottenere in ortaggi destinati ad individui con malattie renali croniche che devono seguire una dieta caratterizzata da un ridotto apporto di potassio (elemento notoriamente molto presente in ortaggi e frutta) o, ancora, l'esempio della riduzione della concentrazione del nichel negli ortaggi destinati a soggetti che soffrono di allergie al metallo (D'Imperio et al., 2019).

La modulabilità della nutrizione vegetale, realizzabile con i sistemi di coltivazione senza suolo, apre notevoli prospettive per l'ottenimento di alimenti vegetali destinati a specifiche esigenze nutrizionali (fig. 2) (D'Imperio et al., 2019; Roupael et al., 2018).



Fig. 2 Produzione di bietola “baby leaf” a ridotto contenuto di potassio (target nutrizionale: soggetti affetti da malattia renale cronica)

POTENZIALITÀ DI DIFFUSIONE

Le potenzialità di diffusione dei prototipi di ortaggi *tailored* sono interessanti se si considera lo stato di malnutrizione non solo dei Paesi sottosviluppati e/o in via di sviluppo ma anche di Paesi industrializzati dove sussiste una esponenziale crescita della percentuale di soggetti “malnutriti” a seguito di eccessiva ed “errata” alimentazione (*junk food*). Non va peraltro dimenticato che numerose campagne pubblicitarie condotte al fine di promuovere la corretta alimentazione suggeriscono di aumentare il consumo di frutta e ortaggi. L'applicazione della *tailoring production* a frutta e ortaggi consente quindi di ottenere il duplice risultato di favorire il consumo di alimenti utili alla salute umana e, nel contempo, aumentare l'assunzione di micronutrienti con specifiche funzioni nell'organismo umano. Tipico è il caso degli ortaggi arricchiti in iodio che possono sostituire il sale iodato ed evitare gli effetti negativi sulla salute umana legati al consumo di sale da cucina (Gonnella et al., 2019; Gonzali et al., 2017).

Inoltre, la potenzialità e la diffusione di questa innovazione si basa anche sulla relativa semplicità del processo di produzione e sulla possibilità di ot-



Fig. 3 *Pane e pasta arricchiti in microelementi grazie all'impiego di matrici vegetali biofortificate*

tenere alimenti su misura senza modificare gli impianti produttivi di sistemi di coltivazione senza suolo ma, soprattutto, senza ridurre la produzione per unità di superficie. Negli ultimi anni, ulteriori innovazioni si stanno affacciando sulla frontiera degli alimenti su misura con l'obiettivo di migliorare la sostenibilità e ridurre i costi di produzione (biostimolanti, nanocarriers, input luminosi calibrati e matrici organiche, quest'ultime utilizzate come fonte naturale di elementi minerali).

Infine gli alimenti vegetali arricchiti possono facilmente essere utilizzati nella formulazione di nuovi prodotti alimentari fortificati di consumo quotidiano (Klopsch et al., 2018), quali pasta o pane (fig. 3).

BIBLIOGRAFIA

- D'IMPERIO M., RENNA M., CARDINALI A., BUTTARO D., SANTAMARIA P., SERIO F. (2016): *Silicon biofortification of leafy vegetables and its bioaccessibility in the edible parts*, «Journal of the Science of Food and Agriculture», 96, pp. 751-756.
- D'IMPERIO M., RENNA M., CARDINALI A., BUTTARO D., SERIO F., SANTAMARIA P. (2016b): *Calcium biofortification and bioaccessibility in soilless "baby leaf" vegetable production*, «Food Chemistry», 213, pp. 149-156.
- D'IMPERIO M., MONTESANO F.F., RENNA M., PARENTE A., LOGRIECO A.F., SERIO F. (2019): *Hydroponic production of reduced-potassium Swiss chard and spinach: a feasible agronomic approach for chronic kidney disease patients tailored vegetables*, «Agronomy», 9, 627.
- FERRARESE M., SOURESTANI M., QUATRINI E., SCHIAVI M., FERRANTE A. (2012): *Biofortification of spinach plants applying selenium in the nutrient solution of floating system*, «Vegetable crops research bulletin», 76, pp. 127-136.
- GIORDANO M., EL-NAKHEL C., PANNICO A., KYRIACOU M.C., STAZI S.R., DE PASCALE S., ROUPHAEL Y. (2019): *Iron biofortification of red and green pigmented lettuce in closed soilless*

- cultivation impacts crop performance and modulates mineral and bioactive composition*, «Agronomy», 9 (6), 290.
- GONNELLA M., RENNA M., D'IMPERIO M., SANTAMARIA P., SERIO F. (2019): *Iodine biofortification of four brassica genotypes is effective already at low rates of potassium iodate*, «Nutrients», 11 (2), 451.
- GONZALI S., KIFERLE C., PERATA P. (2017): *Iodine biofortification of crops: agronomic biofortification, metabolic engineering and iodine bioavailability*, «Current opinion in biotechnology», 44, pp. 16-26.
- D'IMPERIO M., BRUNETTI G., GIGANTE I., SERIO F., SANTAMARIA P., CARDINALI A., COLUCCI S., MINERVINI F. (2017): *Integrated in vitro approaches to assess the bioaccessibility and bioavailability of silicon-biofortified leafy vegetables and preliminary effects on bone*, «In Vitro Cellular & Developmental Biology-Animal», 53 (3), pp. 217-224.
- PIĄTKOWSKA E., KOPEĆ A., BIEŻANOWSKA-KOPEĆ R., PYSZ M., KAPUSTA-DUCH J., KORONOWICZ A.A., MAŚLAK E. (2016): *The impact of carrot enriched in iodine through soil fertilization on iodine concentration and selected biochemical parameters in wistar rats*, «PloS one», 11 (4).
- KLOPSCH R., BALDERMANN S., VOSS A., ROHN S., SCHREINER M., NEUGART S. (2018): *Bread enriched with legume microgreens and leaves-ontogenetic and baking-driven changes in the profile of secondary plant metabolites*, «Frontiers in chemistry», 6, 322.
- MONTESANO F.F., D'IMPERIO M., PARENTE A., CARDINALI A., RENNA M., SERIO F. (2016): *Green bean biofortification for Si through soilless cultivation: plant response and Si bioaccessibility in pods*, «Scientific Reports.», 6, 31662.
- PANNICO A., EL-NAKHEL C., GRAZIANI G., KYRIACOU M.C., GIORDANO M., SOTERIOU G.A., ZARRELLI A., RITTIENI A., DE PASCALE S., ROUPHAEL Y. (2020): *Selenium biofortification impacts the nutritive value, polyphenolic content, and bioactive constitution of variable microgreens genotypes*, «Antioxidants», 9 (4), 272.
- ROUPHAEL Y., KYRIACOU M.C. (2018): *Enhancing quality of fresh vegetables through salinity eustress and biofortification applications facilitated by soilless cultivation*, «Frontiers in plant science», 9, 1254.
- WHITE P.J., PONGRAC P., SNEDDON C.C., THOMPSON J.A., WRIGHT G. (2018): *Limits to the biofortification of leafy brassicas with zinc*, «Agriculture», 2018, 8, 32.

Tracciabilità di prodotto

P. BOCCACCI¹, C. PAGLIARANI¹, I. PERRONE¹,
G. GAMBINO¹

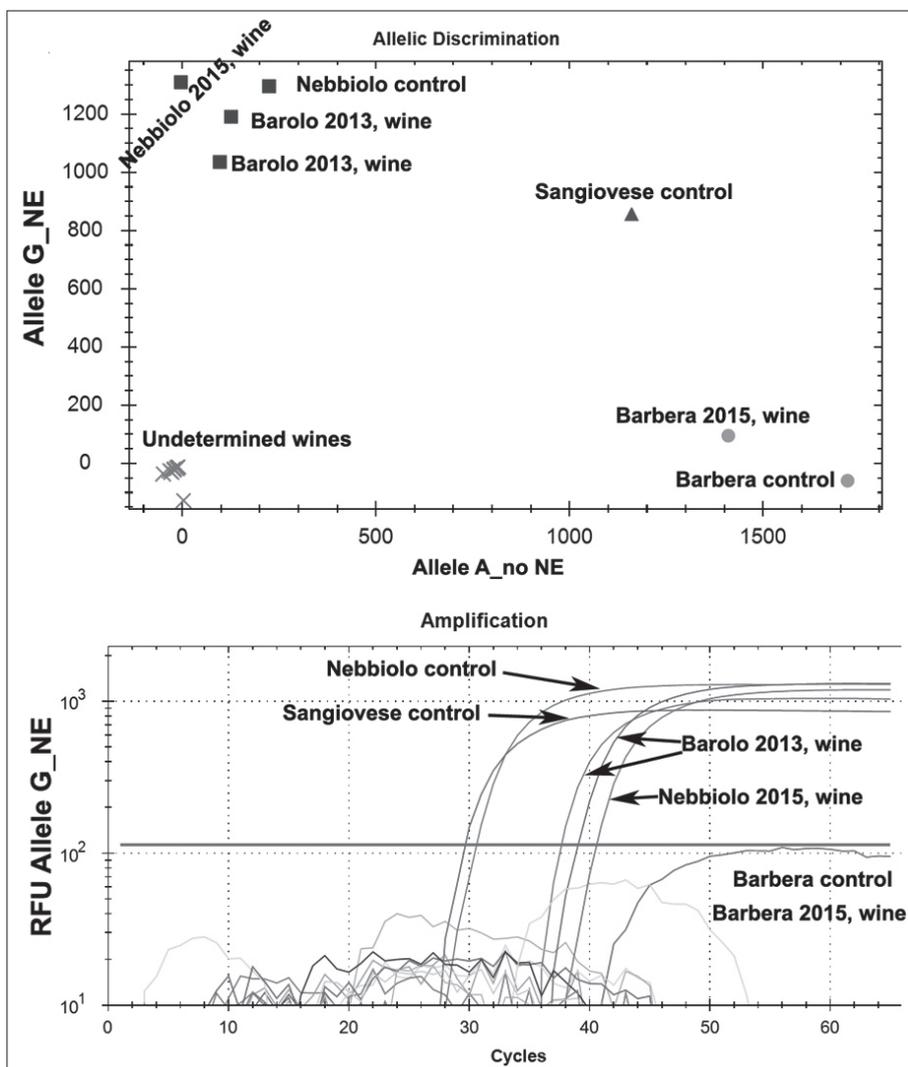
La tracciabilità genetica di mosti e vini mediante *SNP genotyping*

¹Laboratorio di Genomica Funzionale ed Ecofisiologia, Consiglio Nazionale delle Ricerche, Istituto per la Protezione Sostenibile delle Piante, Torino

Negli ultimi anni la qualità e la sicurezza dei prodotti agroalimentari sono diventate un requisito essenziale a garanzia dei consumatori. In accordo con la Direttiva europea 2000/13/EC, tutte le fasi relative alla produzione di prodotti destinati all'alimentazione umana devono essere monitorabili, tracciabili e rintracciabili al fine di garantire l'autenticità e l'origine delle materie prime. La tracciabilità genetica delle uve utilizzate nella produzione di vini DOC e DOCG è uno dei temi maggiormente sentiti, poiché il vino è tra i prodotti agroalimentari maggiormente suscettibili di adulterazioni e l'origine geografica delle uve è il parametro più importante della qualità del vino. Infatti, le caratteristiche finali del vino sono fortemente influenzate dalla composizione varietale del mosto, soprattutto nei vini monovarietali, per i quali viene utilizzata una sola cultivar. Pertanto, la qualità e il valore del vino possono essere fortemente modificati se vengono utilizzate varietà diverse da quelle consentite dai disciplinari di produzione. A tale riguardo, lo sviluppo di metodi che consentano l'autenticazione delle varietà di vite utilizzate nei mosti e nei vini sarebbe di grande valore per il controllo della qualità e dell'autenticità, nonché per la protezione dell'origine. Attualmente, i principali metodi di caratterizzazione di mosti e di vini si basano sull'analisi di parametri chimici e biochimici, come profili proteici e amminoacidici, oligoelementi e isotopi, terpeni ed altri composti aromatici (Versari et al., 2014). Tuttavia, tali metodi richiedono molto tempo e, sebbene possano essere efficaci nel determinare le varietà d'uva utilizzate nei mosti, generalmente non danno risultati definitivi e affidabili nei vini. Pertanto, la certificazione delle produzioni DOC e DOCG, in cui il vitigno o i vitigni da utilizzare sono stabiliti in modo rigoroso dai disciplinari di produzione, è ancora principalmente basata sulla sola documentazione cartacea e seguendo precisi passaggi amministrativi.

L'analisi del DNA si è affermata come tecnica preziosa per identificare le cultivar di vite, grazie al suo alto potere discriminante e a costi relativamente bassi. Tra i marcatori molecolari disponibili, i microsatelliti o *simple sequence repeats* (SSRs) rappresentano la classe di marcatori ideali per il *fingerprinting* della vite e sono stati largamente utilizzati nella costruzione di banche dati contenenti i profili genetici di migliaia di cultivar. Grazie al loro largo impiego, sono stati testati al fine di identificare i vitigni utilizzati in mosti e vini. In generale, tutti i gruppi di ricerca hanno ottenuto risultati positivi nell'ambito dell'analisi del solo mosto e hanno concluso che i principali fattori limitanti relativi all'autenticazione del DNA nei vini (sperimentali e commerciali) erano la ridotta quantità e il livello di degradazione del DNA residuo estratto. Inoltre, questa tipologia di marcatori non è in grado di quantificare eventuali tagli fraudolenti, in quanto fornisce un risultato esclusivamente qualitativo.

I recenti sviluppi della genomica, grazie soprattutto alle sempre più evolute tecniche di sequenziamento massivo, hanno permesso di selezionare e caratterizzare una nuova generazione di marcatori molecolari: i *single nucleotide polymorphism* (SNP). In vite, è stato sviluppato un array contenente 18.000 SNPs (<https://urgi.versailles.inra.fr/Projects/Achieved-projects/GrapeReSeq>) che ha permesso di genotipizzare molte cultivar e di creare dei database anche per questi marcatori. In 'Nebbiolo', per esempio, sono sufficienti solo due marcatori SNP per discriminare questa cultivar tra oltre 1150 genotipi diversi (Boccacci et al., 2020) e risultati simili sono facilmente ottenibili fin da subito per i principali vitigni diffusi al mondo. La disponibilità di database *ad hoc* per gli SNP associati alla loro capacità di superare i limiti di degradazione del DNA estratto, consentendone l'amplificazione mediante tecniche più sensibili, come la PCR quantitativa (qPCR), ne fanno dei marcatori interessanti per la tracciabilità dei vini. Gli SNP sono stati recentemente testati su vini sperimentali e commerciali utilizzando sonde TaqMan® specifiche (*SNP genotyping*) o mediante approccio *high-resolution melting* (HRM). In particolare, il protocollo di genotipizzazione basato sulle sonde TaqMan® ha dimostrato di essere semplice e altamente promettente per l'identificazione varietale nei vini a base 'Nebbiolo' (Boccacci et al., 2020). I vantaggi della tecnica sono: (i) alta sensibilità e specificità nella rilevazione del DNA; (ii) quantificazione di eventuali tagli fraudolenti (fino all'1% in mosti e 10–20% in vini sperimentali); (iii) tempo di analisi estremamente ridotto; e (iv) interpretazione diretta dei risultati, anche in laboratori non specializzati. Nei vini commerciali sono stati ottenuti risultati incoraggianti, ma sarà necessario ottimizzare le tecniche di estrazione degli acidi nucleici dal vino. Con alcuni miglioramenti e la standardizzazione dei metodi, la tecnica potrà trovare facilmente applicazione nel settore enologico per la tracciabilità dei vini più importanti.



BIBLIOGRAFIA

- BOCCACCI P., CHITARRA W., SCHNEIDER A., ROLLE L., GAMBINO G. (2020): *Single-nucleotide polymorphism (SNP) genotyping assays for the varietal authentication of 'Nebbiolo' musts and wines*, «Food Chemistry», 312, 126100.
- VERSARI A., LAURIE V.F., RICCI A., LAGHI L. & PARPINELLO G.P. (2014): *Progress in authentication, typification and traceability of grapes and wines by chemometric approaches*, «Food Research International», 60, pp. 2-18.

Viticultura

S. F. DI GENNARO¹, A. MATESE¹

Applicazioni di viticoltura di precisione da piattaforma UAV in Viticolture di Precisione

¹ Istituto per la BioEconomia, Consiglio Nazionale delle Ricerche

L'evoluzione tecnologica dell'automazione ha fornito alla viticoltura di precisione una nuova soluzione per il monitoraggio remoto, definita con l'acronimo inglese UAV, Unmanned Aerial Vehicle. Sono piattaforme aeree ad ala fissa o rotante a pilotaggio remoto, che volano senza l'ausilio di un pilota a bordo, talvolta vengono chiamati "droni" dall'analogo termine inglese che significa "ronzio" per via del rumore prodotto. Possono essere pilotati a vista da un operatore per mezzo di un radiocomando, o volare in modalità completamente autonoma sfruttando un complesso sistema di sensori di controllo di volo (giroscopi, bussola magnetica, GPS, sensore di pressione e accelerometri triassiali) gestiti da un apposito microprocessore. Si possono così programmare rotte di volo impostando le coordinate di una serie di punti GPS (waypoints). Questi strumenti possono essere equipaggiati con sensori che permettono di eseguire un'ampia gamma di operazioni di monitoraggio. Risultano molto efficaci poiché assicurano una altissima risoluzione spaziale a terra (pochi centimetri) e allo stesso tempo garantiscono un monitoraggio altamente flessibile e tempestivo, grazie a ridotti tempi di pianificazione rispetto all'organizzazione richiesta da un volo aereo. Queste caratteristiche rendono questo strumento ideale per rilievi giornalieri in colture di medie e piccole superfici (1-20 ha), in particolar modo nelle aree agricole caratterizzate da un'alta frammentazione della superficie coltivata dovuta a un'accentuata variabilità orografica.

TRASPORTABILITÀ E FLESSIBILITÀ DI USO

Il sistema UAV multisensore è progettato per avere caratteristiche tali da consentire monitoraggio su comprensori aziendali con vigneti di medio piccole dimensioni molto frazionati, una caratteristica tipica del contesto viticolo del

nostro territorio. Questo comporta la necessità di effettuare brevi voli e successivi spostamenti da un sito a un altro. Dall'incontro di Sigma Ingegneria e Istituti del Consiglio Nazionale delle Ricerche tra cui il gruppo di Agricoltura di Precisione del CNR-IBE di Firenze è nato "Agri-Efesto", che presenta il suo punto di forza nella trasportabilità e nella flessibilità operativa (fig. 1). Esso viene trasportato in setup operativo (ready-to-fly) in una borsa progettata ad-hoc che consente la massima mobilità senza rimuovere la culla dei sensori o smontare eliche o altra parte dell'hardware, così da minimizzare i tempi tradizionali di preparazione della piattaforma al volo. In Agricoltura di Precisione è fondamentale acquisire immagini delle colture nelle medesime condizioni ambientali, infatti cambiamenti di temperatura dell'aria, angolo di incidenza e intensità della radiazione solare che si verificano nel corso della giornata anche a distanza di poche ore, alterano la risposta dei sensori e quindi la qualità prodotto finale (mappe tematiche). Il sistema è un multirotores a 6 eliche, si presenta quindi con struttura leggera e compatta, ottimizzata per svolgere al meglio questo tipo di interventi. La piattaforma è equipaggiata con culla stabilizzata che supporta contemporaneamente una camera multispettrale per la definizione di mappe di vigore basate su indice Normalized Difference Vegetation Index -NDVI), una camera termica per la produzione di mappe di stress idrico basate su indice Crop Water Stress Index-CWSI) e una camera RGB per la ricostruzione fotogrammetrica dei filari e generazione di mappe di biomassa e conteggio delle fallanze.

ELABORAZIONE DELLE IMMAGINI E GENERAZIONE DI MAPPE TEMATICHE 2D A SUPPORTO DECISIONALE

Entrambe le piattaforme sono equipaggiate con un sistema multisensore che consente una acquisizione contemporanea di dati termici e multispettrali ad altissima risoluzione e fornisce così un'accurata descrizione della variabilità interna al vigneto combinando informazioni sulla vigoria e sullo stress idrico (fig. 2). I sensori multispettrali sono in grado di rilevare un'alterazione di attività fotosintetica correlata allo stato nutrizionale, alla salute e al vigore delle piante. Le immagini multispettrali acquisite forniscono una descrizione accurata della variabilità all'interno del vigneto, in funzione della risposta della chioma ai fenomeni di assorbimento e di riflessione della luce nelle regioni del visibile e del vicino infrarosso. La risposta spettrale della foglia in tali regioni è influenzata da diversi fattori: nel visibile dai pigmenti fotosintetici, come clorofilla a, clorofilla b e carotenoidi, nel vicino infrarosso dalla strut-



Fig. 1 Multitirotoe “Agri-Efesto”, una piattaforma UAV di nuova generazione in grado di fornire altissime prestazioni e supportare l’acquisizione simultanea di più sensori

tura cellulare e nell’infrarosso dalla presenza di acqua e sostanze biochimiche, come lignina, cellulosa, amido, proteine e azoto.

Tra i vari indici di vegetazione calcolati da immagini multispettrali, l’NDVI è il più utilizzato per stimare diversi parametri produttivi e vegetativi in agricoltura. Il telerilevamento termico ad alta risoluzione da drone consente di identificare le alterazioni termiche della superficie fogliare dovute a variazioni fisiologiche indotte da condizioni di stress idrico. L’interruzione del fenomeno di raffreddamento evapotraspirativo causato dalla chiusura degli stomi in carenza idrica, diviene così discriminabile fornendo all’agricoltore uno strumento per effettuare un intervento di irrigazione mirato in funzione delle reali necessità delle colture. L’incremento di temperatura fogliare causato da condizione di stress è il principio su cui sono stati sviluppati indici di stress idrico, come CWSI altamente correlato con parametri fisiologici come conduttanza stomatica e potenziale idrico fogliare.

L’implementazione di algoritmi di elaborazione delle immagini consente di generare automaticamente mappe georiferite e ortorettificate in grado di dare indicazioni sullo stato di salute delle colture sia in termini di vigoria che

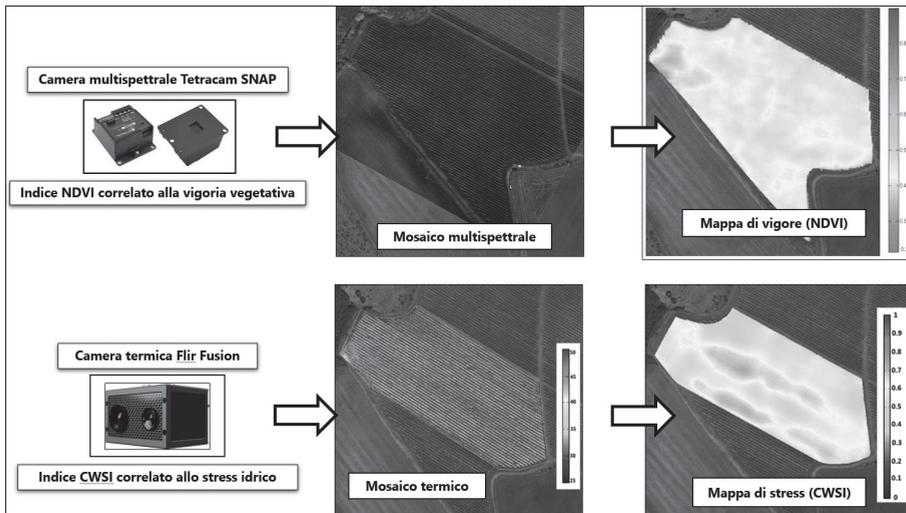


Fig. 2 Immagini multispettrali e termiche per lo sviluppo di mappe tematiche descrittive della vigoria e dello stress idrico

di stress termico/idrico. Le informazioni acquisite consentono di ottimizzare la gestione, fornendo un supporto decisionale per massimizzare qualità e quantità delle produzioni e al tempo stesso tutelare la sostenibilità nell'impiego oculato di input agronomici, riducendo le spese di gestione e garantendo la salvaguardia del territorio.

POTENZIALITÀ DELLA RICOSTRUZIONE FOTOGRAMMETRICA 3D DEI FILARI

La biomassa è uno dei parametri più importanti per analizzare la risposta fisiologica della pianta e consentire all'agronomo aziendale di individuare la migliore strategia di gestione della chioma nel rispetto della variabilità vegetativa presente in vigneto. Le tradizionali mappe di vigore descrivono l'efficienza fotosintetica della chioma, ma non forniscono informazioni sull'altezza e lo spessore dei filari. Questo limite, proprio delle mappe tematiche tradizionali, può essere superato attraverso l'utilizzo di fotogrammetria basata su ricostruzione tridimensionale 3D dei filari tramite immagini a elevata risoluzione acquisite con alto livello di sovrapposizione. Diviene molto importante la pianificazione del volo e il settaggio delle camere, data la necessità di effettuare voli a bassa quota con transetti vicini tra loro, ridotta velocità di avanzamento, alta frequenza di scatto da parte del sensore. Inoltre disporre di un sensore equipaggiato con un proprio modulo GPS dedicato consente di



Fig. 3 Ricostruzione fotogrammetrica dei filari per la stima del volume delle singole piante e l'individuazione delle fallanze

ottimizzare la ricostruzione spaziale delle piante. Le immagini sono elaborate con software di fotogrammetria che integrano tecniche computer vision basate su algoritmi Structure from Motion (SfM), che consentono la riproduzione geometrica ad alta precisione dell'architettura del filare (fig. 3).

I metodi automatici di analisi dati rendono accessibili in tempi rapidi all'agricoltore informazioni sito-specifiche per descrivere la variabilità in altezza e spessore della chioma in vigneto, utili per ottimizzare dosi di trattamenti fogliari. Questa elaborazione inoltre fornisce all'azienda un metodo rapido e oggettivo per quantificare e localizzare con precisione le fallanze in vigneto, evitando così la necessità di monitorare tutti i filari del comprensorio aziendale da parte di operatori a terra.

PERCHÉ UAV È CONVENIENTE. L'UTILIZZO DI DRONI NELLO SCENARIO VITICOLO FUTURO

L'uso di UAV permette di gestire i campi basando su informazioni personalizzate e raccolte ed elaborate in modo integrato, elaborare le quali sarebbe estremamente complesso e difficoltoso, dato che si basano su molteplici serie di dati.

La viticoltura, così come tutta l'agricoltura, ogni stagione fronteggia il progressivo impatto dei cambiamenti climatici sull'ambiente di coltivazione

in uno scenario di altissima competizione di mercato. Nella Viticoltura di Precisione la ricerca fornisce nuove soluzioni per comprendere e monitorare rapidamente e in altissimo dettaglio lo stato fisiologico delle piante in vigneto nel corso della stagione, il vigore vegetativo, la presenza di stress abiotici estivi.

La continua evoluzione tecnologica in termini di incremento delle performance e riduzione dei costi di droni e sensori, renderà questi strumenti sempre più potenti e accessibili per rendere queste tecniche di remote sensing una routine aziendale. Negli ultimi anni è cresciuto esponenzialmente il numero di aziende di servizio nel campo dei rilievi da drone soprattutto nella realizzazione di mappe di vigore. Non deve essere comunque trascurata l'importanza di conoscenze agronomiche fondamentali per la corretta interpretazione dei dati. Il monitoraggio di stress idrici da drone è molto delicato: il corretto processo di acquisizione ed elaborazione richiede precisione e conoscenza della risposta fisiologica della pianta a stress termici e radiativi. Le potenzialità applicative di monitoraggi a bassa quota con camere RGB sono ancora poco diffuse data la complessità di elaborazione e analisi dei dati attraverso tecniche di ricostruzione fotogrammetrica dell'architettura della chioma. Tuttavia il minimo costo e il facile utilizzo delle camere RGB rendono questo approccio una soluzione altamente preformante in grado di fornire indicazioni all'agronomo aziendale per ottimizzare le dosi di trattamenti fogliari in ottica di sostenibilità ambientale, efficacia di trattamento e riduzione di costi evitando sprechi di fitofarmaci.

BIBLIOGRAFIA

- CINAT P., DI GENNARO S.F., BERTON A., MATESE A. (2019): *Comparison of Unsupervised Algorithms for Vineyard Canopy Segmentation from UAV Multispectral Images*, «Remote Sens», 11, 1023.
- MATESE A., DI GENNARO S. (2018): *Practical Applications of a Multisensor UAV Platform Based on Multispectral, Thermal and RGB High Resolution Images in Precision Viticulture*, «Agriculture», 8, 116.
- MATESE A., DI GENNARO S.F., SANTESTEBAN L.G. (2019): *Methods to compare the spatial variability of UAV-based spectral and geometric information with ground autocorrelated data. A case of study for precision viticulture*, «Comput. Electron. Agric», 162, pp. 931-940.
- SANTESTEBAN L.G., DI GENNARO S.F., HERRERO-LANGREO A., MIRANDA C., ROYO J.B., MATESE A. (2017): *High-resolution UAV-based thermal imaging to estimate the instantaneous and seasonal variability of plant water status within a vineyard*, «Agric. Water Manage.», 183, pp. 49-59.

S. DI MARCO¹, L. MUGNAI²

Il *trichoderma*, un microrganismo al servizio della viticoltura

¹ Istituto per la BioEconomia, CNR, Bologna

² Dipartimento di Scienze e Tecnologie Agrarie, Alimentari, Ambientali e Forestali, Università di Firenze

La moderna pratica agricola è sempre più caratterizzata da processi multiscala articolati per territori, per qualità, tipicità e sicurezza delle produzioni e per sostenibilità ambientale, con un prevedibile aumento del valore aggiunto dell'intero sistema. In questa direzione si è ulteriormente sviluppata la ricerca di specie di insetti e microrganismi utili alle piante anziché limitarsi a eliminare quelli dannosi.

Il nostro Paese, con circa 650 mila ettari e 55 milioni di ettolitri, è il primo produttore di vino in Europa e la viticoltura rappresenta un settore di eccellenza per le sue produzioni. La protezione del vigneto dalle avversità è attualmente condotta in un generale rispetto di equilibri ambientali interni ed esterni al vigneto, anche grazie a nuovi strumenti (es. viticoltura di precisione) e mezzi tecnici a basso impatto ambientale.

Tra le malattie più diffuse nel vigneto il complesso esca, più noto come mal dell'esca, è presente in pressoché tutte le aree vitate del mondo. Questo complesso di malattie è considerato in taluni casi una vera e propria emergenza anche nei nostri vigneti, dal nord al sud della penisola. Nella forma cosiddetta di "esca propria", la malattia, si sviluppa a carico del tessuto legnoso e può manifestarsi con avvizzimenti e necrosi fogliari, e accompagnare l'intera vita produttiva del vigneto, a partire dal vivaio sino alla senescenza degli impianti, causando perdite di produzione, per quantità e qualità, e morte della pianta.

La complessità e le peculiarità del complesso esca nelle sue diverse forme ed espressioni e la mancanza di efficaci mezzi di difesa ha indotto alla ricerca di nuovi strumenti di protezione, atti a ridurre o impedire le infezioni e/o a ridurre la manifestazione sulla pianta e il conseguente danno alla produzione.

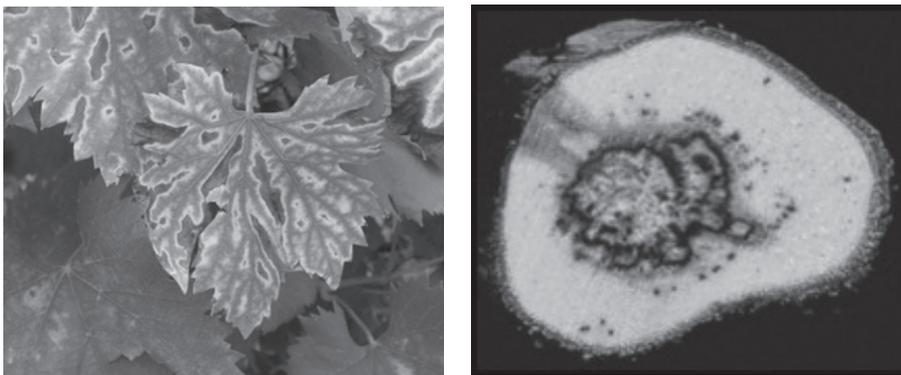


Fig. 1 Tipici sintomi fogliari di tigratura fogliare e sezione di un tronco affetto dal complesso esca in cui si evidenziano carie e necrosi bruna. I principali patogeni associati alla malattia sono *Phaeoconiella chlamydospora* (Pal) *Phaeoacremonium minimum* (Pmi) e *Fomitiporia mediterranea* (Fomed)

Diversi studi sono stati condotti per la protezione delle ferite di potatura, principale veicolo di ingresso dei patogeni associati alla malattia. La maggiore difficoltà era rappresentata dalla prolungata recettività delle ferite che limitavano l'efficacia di prodotti chimici caratterizzati da una persistenza d'azione non sufficiente a garantire un'efficace copertura del legno dall'ingresso dei patogeni.

Il *Trichoderma* è un microrganismo benefico, tipico della rizosfera, noto per la molteplicità dei suoi meccanismi d'azione, attraverso i quali è in grado di esercitare, nei confronti di diversi patogeni, un'attività diretta (micoparassitismo, produzione di sostanze antibiotiche, competizione per spazio e nutrienti) e indiretta, per induzione di resistenza, nonché di stimolazione della crescita della pianta. In Italia, l'Istituto di Biometeorologia, ora Istituto per la BioEconomia, del CNR e l'Università di Firenze, hanno condotto studi sulla possibilità di utilizzare specie di *Trichoderma* per la protezione delle ferite. Studi analoghi sono stati successivamente condotti anche in altri Paesi europei.

Gli studi sono stati basati sulla dimostrata capacità di un microrganismo come *Trichoderma*, che – pur essendo un organismo terricolo – è in grado di colonizzare e moltiplicarsi su un organo della pianta (il grappolo ad esempio, o in questo caso, la superficie legnosa esposta dal taglio di potatura), e persistere su di esso per molto tempo, esercitando potenzialmente la sua azione nei confronti di altri microorganismi e quindi anche di vari patogeni.

Il lavoro è stato condotto in diverse fasi e per più anni, ponendoci alcune domande.

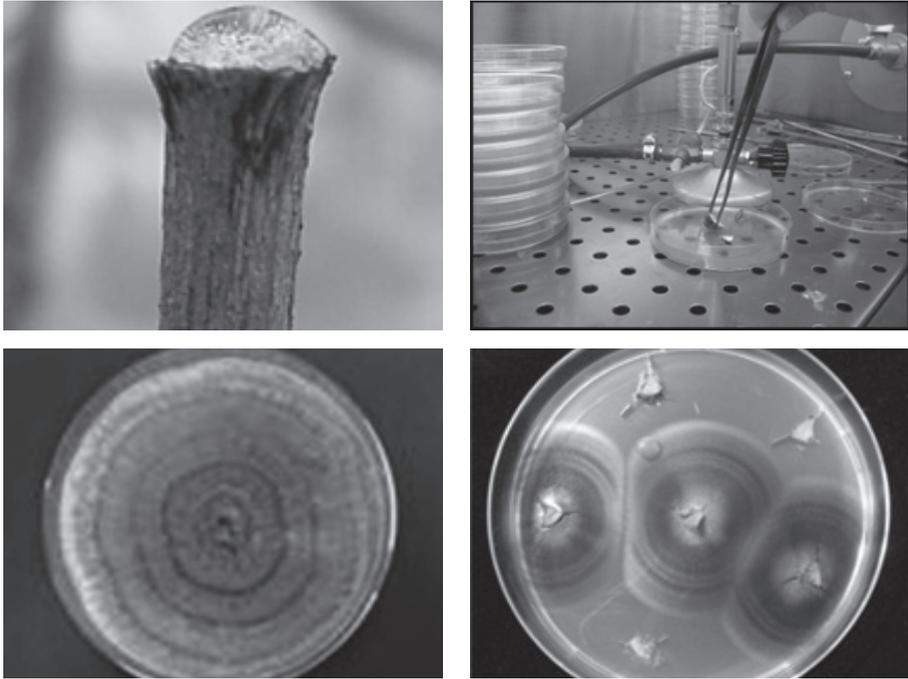


Fig. 2 *Tralcio trattato con Trichoderma e successivamente inoculato con una goccia di sospensione conidica di Pch. Si è quindi operato un'analisi del tessuto legnoso da cui è stato possibile isolare Trichoderma e Pch, in ragione delle varie combinazioni previste nella prova*

FUNZIONA O NON FUNZIONA?

Innanzitutto sono stati scelti ceppi già selezionati per la loro capacità di colonizzare il taglio di potatura, appartenenti alle specie *Trichoderma gamsii* e *Trichoderma asperellum*. Analoghe osservazioni sono state effettuate in altri contesti su ceppi selezionati di *Trichoderma harzianum* o *atroviride* con risultati analoghi. La prima condizione era quella di valutare se i ceppi delle specie di *Trichoderma* selezionati fossero efficaci nei confronti dei principali patogeni associati al complesso esca. Si è dunque valutata la loro capacità di riuscire a contenere, in laboratorio, la crescita dei patogeni a diverse temperature, considerando la prolungata recettività delle ferite di potatura nel periodo autunnale, in inverno e durante la primavera alla ripresa vegetativa.

I risultati ottenuti hanno dato esiti positivi. I due ceppi di *Trichoderma* (da ora in poi indicati semplicemente come *Trichoderma*) riuscivano a parassitizzare le colonie dei patogeni e a contenerne lo sviluppo attraverso l'azione di sostanze volatili o antibiotici.

RIESCE A PERSISTERE SULLA FERITA AGENDO A PROTEZIONE DELLE INFEZIONI?

L'aspetto più rilevante era quello di verificare se un microrganismo ad habitat terricolo avrebbe colonizzato stabilmente un ferita di potatura e, una volta insediatovi, fosse riuscito a impedire o almeno a limitare l'ingresso di patogeni associati al complesso esca nella pianta inoculati artificialmente attraverso la ferita. Sono stati effettuati trattamenti delle ferite di potatura con un preparato contenente le due specie seguiti da inoculazioni artificiali in diversi vigneti e per più anni: il preparato a base di *Trichoderma* è riuscito a colonizzare le ferite per lungo tempo e a limitare l'infezione.

CHE EFFETTI HA IN VIGNETO?

In vigneti di varie cultivar ubicati in diverse Regioni sono state realizzate applicazioni pluriennali e si è verificato l'effetto negli anni sulla incidenza annuale della malattia e sulle piante morte. Sappiamo che una vite infetta può manifestare o meno i sintomi della malattia negli anni, per motivazioni complesse e non del tutto chiarite ma correlate all'andamento meteorologico stagionale, con particolare riferimento alla pioggia. Sappiamo anche che se in un dato anno su una pianta si manifesta il sintomo fogliare, vi è una correlazione tra tale manifestazione e la qualità della produzione. Uve raccolte da piante che manifestano sintomi di esca hanno un minor contenuto di zuccheri, una maggiore acidità totale, un maggior contenuto di azoto e una diversa composizione della componente fenolica.

I numerosi anni di sperimentazione hanno evidenziato una minor incidenza della malattia in vigneto e un minor numero di piante morte per esca.

ABBIAMO UN NUOVO STRUMENTO IN GRADO DI CONTENERE LE INFEZIONI DEL LEGNO E I DANNI CHE NE CONSEGUONO

Il lavoro svolto ha consentito la registrazione di formulazioni di *Trichoderma* e la conseguente disponibilità per i viticoltori di soluzioni per proteggere il vigneto e ridurre le infezioni che annualmente possono interessare i nostri vigneti.

Si consiglia di applicare i formulati prima possibile dopo la potatura e, in ragione delle formulazioni adottate, seguendo le indicazioni relative alla temperatura media o alla distanza dalla fase del pianto.

Dunque, in un contesto in cui mancano veri e propri mezzi di difesa realmente efficaci contro questa pericolosa malattia, abbiamo a disposizione e ci sentiamo di consigliare un nuovo strumento, utilizzabile anche in regime di agricoltura biologica, che si è dimostrato in grado di:

- contenere le nuove infezioni;
- ridurre l'incidenza e la gravità della manifestazione sintomatologica della malattia, riuscendo in tal modo a limitare perdite di produzione in termini di quantità e qualità;
- limitare in alcuni casi la morte delle piante malate.

Questi risultati sono ottenibili in modo tanto più significativo quanto più precoce è l'attivazione della protezione, che sia attuata con questi mezzi biologici o con i mezzi chimico-fisici. Questi ultimi sono stati messi a punto recentemente sviluppando un formulato caratterizzato da un polimero che ricopre fisicamente la ferita, associato a un principio attivo di sintesi, efficace contro i patogeni dell'esca. Il formulato viene distribuito su ogni singola ferita attraverso una particolare attrezzatura sviluppata e messa a disposizione dall'Azienda che ha registrato il prodotto. Un'applicazione puntuale ed efficace. I diversi formulati a base di *Trichoderma* hanno invece il vantaggio di essere distribuiti tramite un normale atomizzatore, in tutto il vigneto, e permettono un'efficace difesa realizzabile soprattutto in regime di agricoltura biologica, settore di estrema importanza, di elevato valore aggiunto e in continua crescita, ma soggetto a continue limitazioni degli strumenti di difesa. La possibilità di utilizzare in tale ambito un nuovo ed efficace strumento è dunque un aspetto di grande importanza.

In ogni caso, quello che si ottiene è una riduzione significativa e della sintomatologia e in taluni casi della mortalità dovuta al complesso esca. Comprensibilmente, l'efficacia risulta più contenuta in vigneti particolarmente vecchi, con piante già fortemente interessate dalla malattia. Si tratta infatti di attivare una protezione dalle infezioni che ovviamente dà il massimo di efficacia quanto più precoce, a partire dalla prima potatura, è l'applicazione e la conseguente attività di prevenzione, che deve essere ripetuta negli anni.

Il problema delle malattie del legno, e del complesso esca, o mal dell'esca, in particolare, è riconosciuto come una delle emergenze della viticoltura mondiale. Ulteriori e approfonditi studi sono in corso in diversi Paesi per tentare di limitare l'impatto di questa pericolosa e diffusa ampelopatia. Tali studi sono presentati, discussi e sviluppati in periodici incontri internazionali organizzati e coordinati dall'International Council on Grapevine Trunk Diseases, una società scientifica che raggruppa decine di specialisti di università e centri di ricerca di tutto il mondo che operano in questo settore.

A. LUCCHI¹

Condividere per innovare: un'esperienza di successo nei vigneti del litorale toscano

¹ Dipartimento di Scienze Agrarie, Alimentari ed Agro-ambientali, Università di Pisa

INTRODUZIONE

La Direttiva Europea 2009/128/CE ha istituito un quadro per l'azione comunitaria avente come oggetto l'utilizzo sostenibile dei prodotti fitosanitari e sancendo l'obbligatorietà della protezione integrata delle colture (IPM) per gli Stati membri. In Italia, questa Direttiva viene attuata mediante il Piano di Azione Nazionale (PAN) (Decreto Interministeriale 22 gennaio 2014), che promuove la ricerca di alternative all'uso dei prodotti fitosanitari e fornisce indicazioni per ridurre l'impatto di questi prodotti nelle aree agricole ed extra agricole. Per le diverse filiere produttive, l'adozione della protezione integrata nel controllo dei principali fitofagi dipende dall'esistenza di strumenti e mezzi alternativi agli insetticidi, che siano efficaci e, allo stesso tempo, economicamente accettabili. Purtroppo, la disponibilità di tali strumenti non coincide, nella maggior parte dei casi, con la loro adozione da parte degli "stakeholders", che non ne conoscono le reali potenzialità e, per questo motivo, non hanno sufficiente fiducia nei risultati conseguibili. In tale contesto può e deve entrare in gioco il ricercatore, nella sua funzione di promotore di idee, collettore di esigenze e catalizzatore di innovazione. Collaborando fianco a fianco con il ricercatore le aziende troveranno il coraggio di intraprendere strade nuove, assumendosene volentieri il rischio.

IL CASO DI BOLGHERI

Il punto di partenza

Nella viticoltura italiana gli artropodi dannosi associati alla vite sono una cin-

quantina (Lucchi, 2017). Di questi, per dannosità e frequenza, la tignoletta della vite *Lobesia botrana* (Tortricidae) e la cocciniglia farinosa *Planococcus ficus* (Pseudococcidae) rappresentano le principali avversità su gran parte del territorio nazionale. Per la gestione di questi fitofagi esistono mezzi e metodi alternativi agli insetticidi, i feromoni nel primo caso e gli insetti utili nel secondo, che hanno acquisito negli ultimi anni una valenza via via crescente per l'efficacia mostrata in diversi contesti viticoli. I vigneti della DOC Bolgheri (circa 1200 ettari) hanno subito in anni recenti pesanti infestazioni da parte di *L. botrana* e *P. ficus* (fig. 1A,C). Le strategie insetticide generalmente adottate dai viticoltori includevano 2-3 interventi all'anno contro la tignoletta con regolatori di crescita o fosfororganici e 1-2 trattamenti all'anno contro la cocciniglia con fosfororganici, chitinoinibitori o insetticidi sistemici. La necessità di intervenire di continuo con insetticidi nonostante i trattamenti effettuati negli anni precedenti e una maturata sensibilità verso metodi rispettosi dell'ambiente e della salute degli operatori hanno indotto i responsabili dell'azienda Guado al Tasso (Antinori) a rivolgersi all'Università di Pisa per esplorare nuove strade.

Le prime mosse del progetto

Dopo alcune attività preliminari avviate nel 2014, il progetto è ufficialmente partito a Guado al Tasso nel 2015, con la confusione sessuale (fig. 1C), applicata su parte della superficie aziendale (50 ettari), in modo da poter confrontare i risultati ottenuti nel controllo della tignoletta con la strategia insetticida convenzionale, applicata sulla superficie rimanente. La gestione delle popolazioni di *P. ficus* ha visto invece il rilascio di due agenti di controllo biologico, il parassitoide *Anagyrus vladimiri* (fig. 1D) (Hymenoptera Encyrtidae) a metà maggio (1.000 individui/ha su un totale di 3,5 ettari) e il predatore *Cryptolaemus montrouzieri* (Coleoptera Coccinellidae) (500 individui/ha su un totale di 4 ettari) a giugno e/o a luglio. Tutte le attività sono state pensate e gestite nell'ambito di un "gruppo di lavoro", comprendente ricercatori universitari e responsabili aziendali.

I primi rilievi

Il monitoraggio delle popolazioni dei due fitofagi è stato effettuato con trappole a feromone e rilievi sui grappoli. La valutazione di efficacia è stata con-

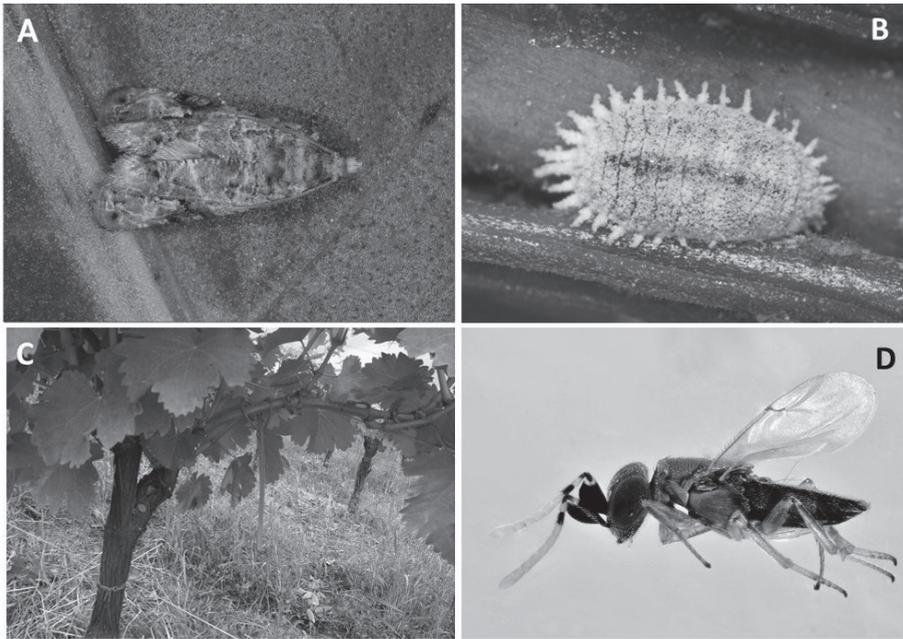


Fig. 1 In (A) un adulto di *Lobesia botrana*. In (B) una femmina di *Planococcus ficus*. In (C) uno degli erogatori feromonici utilizzati per il controllo di *L. botrana*. In (D) una femmina di *Anagyrus vladimiri*, parassitoide di *P. ficus*

dotta sia nei vigneti a confusione che in quelli convenzionali, per quanto riguarda la tignoletta, e negli appezzamenti nei quali sono stati rilasciati gli insetti utili per quanto riguarda la cocciniglia, tutto a confronto con vigneti testimone. Per valutare l'efficacia della confusione sessuale contro *L. botrana* sono stati presi in considerazione (a) il numero di catture settimanali di maschi nelle trappole a feromoni; (b) la percentuale di grappoli infestati e il numero di nidi per infiorescenza (prima generazione), o il numero di larve per grappolo e il numero di acini danneggiati per grappolo (seconda e terza generazione). Le infestazioni di prima e seconda generazione sono state valutate attraverso indagini non distruttive, in vigneto, di infiorescenze e grappoli verdi. Nel caso della terza generazione, una stima della popolazione larvale e dell'infestazione è stata fatta alla raccolta, su campioni di grappoli raccolti nei vigneti ed opportunamente sezionati uno ad uno in azienda, prima di essere vinificati. Per quanto riguarda le popolazioni di cocciniglia, l'efficacia degli agenti di biocontrollo è stata valutata in base al numero di esemplari parassitizzati da *A. vladimiri* a metà luglio e alla raccolta, e mediante la stima delle popolazioni di larve e adulti di *C. montrouzieri* nei vigneti oggetto dei

rilasci e in quelli testimone. La valutazione di efficacia sul campo ha portato all'osservazione di oltre 20.000 grappoli durante l'intera stagione produttiva.

Fin dal primo anno i risultati sono stati molto promettenti, l'azienda non ha trattato con insetticidi nei vigneti a confusione, con un'infestazione estremamente bassa alla raccolta (meno del 5% dei grappoli infestati), mentre ha trattato due volte nelle aree convenzionali con methoxyfenozide e chlorantraniliprole, con un'efficacia notevolmente inferiore alla vendemmia in termini di grappoli infestati, variabile, nei diversi appezzamenti, dal 19,8% al 56,8%. Eccellenti risultati sono stati ottenuti anche nel controllo di *P. ficus* con i due insetti utili sopra menzionati con percentuali di parassitizzazione a carico di neanidi di terza età e femmine ovigere di planococco variabili dal 27,14% al 69,55% già al primo anno. Per iniziativa del gruppo tecnico, le attività svolte e i risultati conseguiti sono stati resi disponibili attraverso convegni e incontri "ad hoc" ai quali hanno partecipato altre aziende del territorio e mediante la preparazione di pieghevoli istruttivi (Lucchi et al., 2018), oltre alla creazione di un sito internet dedicato, contenente informazioni pratiche sulle strategie adottate ed alcuni video dimostrativi, come quello riguardante il comportamento di predazione e parassitizzazione degli insetti utili registrato nei laboratori dell'Università di Pisa (<https://www.youtube.com/watch?v=ILa2ZawSBHc>).

Altre aziende aderiscono al progetto

La condivisione dei risultati ottenuti ha avuto come primo e gradito effetto l'adesione al progetto da parte di altre grandi aziende come Cà Marcanda e Ornellaia. Per questo, nel 2016 la confusione sessuale è stata applicata a Bolgheri su 300 ettari e gli agenti di controllo biologico sono stati utilizzati su circa 20 ettari, confermando a fine stagione, in termini di efficacia conseguita, gli ottimi risultati ottenuti nell'anno precedente. Con nostra grande soddisfazione, nel 2017 hanno aderito al progetto altre aziende, cosicché i feromoni sono stati utilizzati su circa 700 ettari mentre gli insetti utili sono stati impiegati su circa 200 ettari. La sostanziale diminuzione della quantità di insetticidi dovuta all'introduzione dei feromoni e degli insetti utili è stata percepita dalle aziende del bolgherese come un primo importante passo verso la produzione di vini caratterizzati non solo da un'elevata qualità ma anche da elevati standard di sicurezza per gli operatori e da ridotto impatto ambientale. Il programma triennale ha portato a una drastica riduzione delle popolazioni dei due insetti, cosicché altre aziende si sono aggiunte e l'area gestita con fe-

romoni ed insetti utili è oggi ulteriormente aumentata (la confusione sessuale è applicata su quasi 1000 ha e gli agenti di biocontrollo su circa 400 ha) con una drastica riduzione degli insetticidi impiegati rispetto al passato.

Il progetto varca i confini regionali

L'originalità del progetto, condiviso tra produttori e ricercatori per la soluzione di un problema annoso, ed i risultati conseguiti, hanno interessato la stampa regionale e nazionale, che ad esso hanno dedicato diversi articoli adatti al grande pubblico. La Regione Toscana ne ha divulgato i risultati nel Congresso ERIAFF tenutosi in Finlandia nel giugno 2018. Una struttura Europea che si occupa di divulgare le migliori pratiche agricole comunitarie (EIP AGRI) ha condiviso con tutti gli Stati membri l'esperienza vissuta nel bolgherese come esempio di fruttuosa collaborazione tra ricercatori e stakeholders. Una prestigiosa rivista internazionale dedicata all'inquinamento ambientale (Environmental Science and Pollution Research) ha voluto dedicare al progetto un "trend editorial" nel numero di aprile 2018 (Lucchi e Benelli, 2018).

Tutto sommato, i risultati ottenuti hanno superato di gran lunga le aspettative. Un proverbio americano recita: "From the tiny acorn grows the mighty oak" "Dalla minuscola ghianda cresce la possente quercia". La minuscola ghianda del progetto di Bolgheri è stata la forte condivisione, tra produttori e ricercatori, delle necessità iniziali, delle conoscenze disponibili, delle difficoltà incontrate e dei successi conseguiti.

BIBLIOGRAFIA E SITOGRAFIA

- LUCCHI A. (2017): *Note di Entomologia viticola*, terza edizione. Pisa University Press, 223 pp.
- LUCCHI A., BENELLI G. (2018): *Towards pesticide-free farming? Sharing needs and knowledge promotes Integrated Pest Management*, «Environmental Science And Pollution Research», 25, 13439-13445.
- LUCCHI A., RICCIARDI R., COSCI F., BENELLI G. (2018): *Lepidotteri ed Emittenti dannosi alla vite in Toscana*, Campano Edizioni, 54 pp.
- EIP-AGRI FOCUS GROUP ON DISEASES AND PESTS IN VITICULTURE (2019): https://ec.europa.eu/eip/agriculture/sites/agri-eip/files/eip-agri_fg_diseases_and_pests_in_viticulture_final_report_2019_en.pdf

L. BRANCADORO¹, G. DE LORENZIS¹, D. BIANCHI¹, O. FAILLA¹, A. SCIENZA¹

Costituzione e selezione di nuovi portainnesti di vite

¹ Dipartimento di Scienze Agrarie e Ambientali - Produzione, Territorio, Agroenergia (DiSAA), Università di Milano

Al contrario di altre colture arboree, dove il portainnesto ha una valenza squisitamente agronomica, nel caso della viticoltura la sua accezione è legata all'aspetto sanitario, limitandolo al motivo della sua introduzione: la fillossera. Ma come in tutte le colture arboree, anche per la vite, al momento dell'impianto, la scelta del portainnesto risulta determinante per l'adattamento della coltura alle condizioni ambientali e alle finalità produttive che si intende ottenere. Questo è tanto più di rilievo se si considera che, tra le colture arboree, la vite è quella con la più ampia eterogeneità di ambienti di coltivazione, di finalità produttive e di cultivar utilizzate. In Italia gli oltre 600.000 ettari di vigneto, realizzati con oltre 750 cultivar registrate, sono distribuiti lungo tutta la penisola, dalle aree alpine alle isole del Mediterraneo e danno una produzione che, oltre ad essere declinata, nelle più diverse tipologie di vino è destinata anche al consumo fresco e alla trasformazione (uva passa, succhi ecc.). A fronte di questo quanto mai eterogeneo panorama sono solo 6 i portainnesti, su un totale di 45 iscritti al Registro Nazionale di Varietà di Vite, con i quali si realizza oltre il 90% del materiale di propagazione della vite. Questi 6 portainnesti sono inoltre stati costituiti alla fine del XIX secolo, quando la viticoltura, nazionale e internazionale, aveva esigenze completamente diverse da quella attualmente praticata. A complicare ulteriormente il quadro, con ripercussioni estremamente negative sulla coltura, sono i mutamenti climatici in atto che, come ormai è evidente, producono eventi metereologici estremi con una sempre maggior frequenza, riducendo l'adattabilità della coltura in diversi ambienti di coltivazione. Queste condizioni richiedono pertanto nuovi sforzi nelle attività di breeding, anche ampliando la ridotta base genetica attualmente in uso, con il fine di costituire e selezionare nuovi portainnesti che, oltre ad essere efficace barriera contro la fillossera, presentino un'elevata tolleranza agli stress ambientali così come un'ottima capacità di adattare la coltura alle attuali esigenze del settore.

	PARENTALI	PRINCIPALI CARATTERISTICHE
M1	Kober 5BB (<i>V. berlandieri</i> × <i>V. riparia</i>) X Teleki 5C (<i>V. berlandieri</i> × <i>V. riparia</i>)	Ridotto vigore, elevata resistenza al calcare attivo fino 35% sufficientemente resistente alla siccità. Adatto a terreni freschi e con vitigni di buon vigore
M2	Cosmo 10 (<i>V. berlandieri</i> × <i>V. riparia</i>) X 140 Ruggeri (<i>V. berlandieri</i> × <i>V. rupestris</i>)	Vigore più che medio, induce buona produttività alla marza; tolleranza allo stress idrico e alla salinità del suolo buona, elevata tolleranza al calcare attivo (25%).
M3	Kober 5BB (<i>V. berlandieri</i> × <i>V. riparia</i>) X Teleki 5C (<i>V. berlandieri</i> × <i>V. riparia</i>)	Poco vigoroso, adatto alla combinazione con vitigni vigorosi, efficiente nell'assorbire il potassio, adatto a terreni freschi e profondi, sufficiente tolleranza alla siccità e al calcare attivo (22%).
M4	1103 Paulsen (<i>V. berlandieri</i> × <i>V. rupestris</i>) X ?	Medio vigore, induce ottimo equilibrio vegeto produttivo; resistenza alla siccità e alla salinità dei suoli molto elevata, buona tolleranza al calcare attivo (25%)

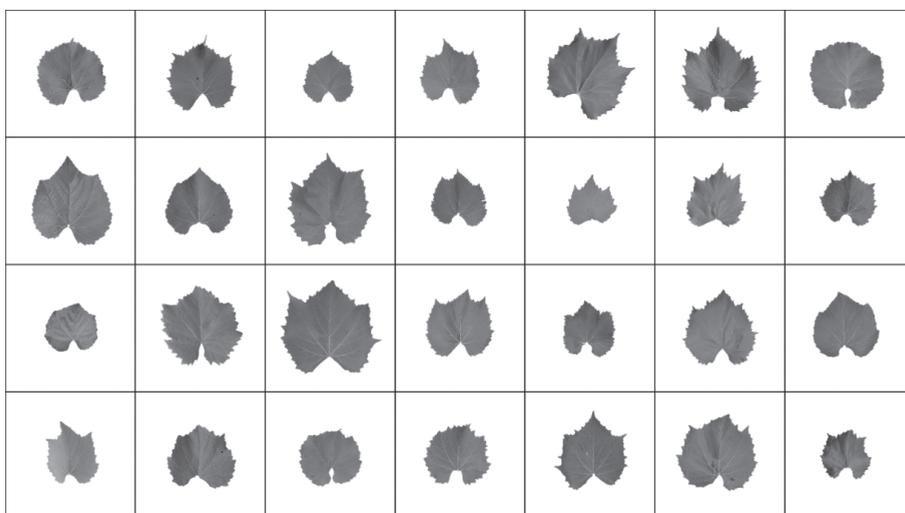


Fig. 1 Variabilità tra le foglie dei nuovi genotipi

I programmi di breeding, condotti da DiSAA – UNIMI nel corso degli anni, hanno portato ad oltre 8.000 semenzali frutto di con numerose combinazioni d'incrocio. Da questi, attraverso passaggi successivi di selezione si sono individuati 35 genotipi (fig. 1) con caratteristiche tali da poter essere avviati alle indagini finali per la richiesta d'iscrizione al Registro Nazionale delle varietà di Vite nella sezione portainnesti. I primi 4 portainnesti siglati: M1, M2, M3 e M4 sono stati licenziati nel 2014.

Il restante gruppo di genotipi è in fase di valutazione con le prime prove in combinazione d'innesto con alcune delle principali cultivar di *vinifera* al fine

di costituire vigneti in differenti areali viticoli italiani. Al termine di queste indagini si avranno indicazioni sulle interazioni portainnesto – marza relative alle attitudini agronomiche e alla capacità di tollerare gli stress abiotici. In seguito a queste prove sarà possibile avere un quadro completo delle attitudini dei nuovi genotipi e selezionare tra questi quelli maggiormente rispondenti alle molteplici necessità dell'attuale coltivazione della vite.

BIBLIOGRAFIA

- BIANCHI D., GROSSI D., SIMONE DI LORENZO G., ZI YING Y., RUSTIONI L., BRANCADORO L. (2020): *Phenotyping of the “G series” Vitis hybrids: First screening of the mineral composition*, «Sci. Hortic. (Amst.)», 264, 109155.
- BIANCHI D., GROSSI D., TINCANI D.T.G., SIMONE DI LORENZO G., BRANCADORO L., RUSTIONI L. (2018): *Multi-parameter characterization of water stress tolerance in Vitis hybrids for new rootstock selection*, «Plant Physiol. Biochem.»; 132, pp. 333-340.
- CORSO M., VANNOZZI A., MAZA E., VITULO N., MEGGIO F., PITACCO A., TELATIN A., D'ANGELO M., FELTRIN E., NEGRI A.S., PRINSI B., VALLE G., RAMINA A., BOUZAYEN M., BONGHI C. AND LUCCHINI M. (2015): *Comprehensive transcript profiling of two grapevine rootstock genotypes contrasting in drought susceptibility links the phenylpropanoid pathway to enhanced tolerance*, «Journal of Experimental Botany», 66, pp. 5739-5752.
- GALBIGNANI M., MERLI M.C., MAGNANINI E., BERNIZZONI F., TALAVERANO I., GATTI M., TOMBESI S., PALLIOTTI A. & PONI S. (2016): *Gas exchange and water-use efficiency of cv. Sangiovese grafted to rootstocks of varying water-deficit tolerance*, «Irrig Sci», 34, pp. 105-116.
- MEGGIO F., PRINSI B., NEGRI A.S., DI LORENZO G.S., LUCCHINI G., PITACCO P., FAILLA O., SCIENZA A., COCUCCI C., ESPEN L. (2014): *Biochemical and physiological responses of two grapevine rootstock genotypes to drought and salt treatments*, «Australian Journal of Grape and Wine Research», 20, pp. 310-323.
- MIGLIARO D., DE LORENZIS G., DI LORENZO G.S., DE NARDI B., GARDIMAN M., FAILLA O., BRANCADORO L., CRESPIAN M. (2019): *Grapevine non-vinifera genetic diversity assessed by simple sequence repeat markers as a starting point for new rootstock breeding programs*, «Am. J. Enol. Vitic.»; 70, pp. 390-397.
- ZAMBONI M., GARAVANI A., GATTI M., VERCESI A., PARISI M.G., BAVARESCO L., PONI S. (2016): *Vegetative, physiological and nutritional behavior of new grapevine rootstocks in response to different nitrogen supply*, «Scientia Horticulturae», 202, pp. 99-106.

G. CIPRIANI¹, E. PETERLUNGER¹, R. TESTOLIN¹

Varietà resistenti alle più comuni malattie fungine in vite

¹ Dipartimento di Scienze Agroalimentari, Ambientali e Animali, Università di Udine

Il miglioramento genetico in viticoltura è stato rivolto, soprattutto nei Paesi occidentali, alla produzione di uve da tavola, soprattutto senza semi (varietà seedless), e ha prodotto benefici nel panorama varietale. Non si può dire lo stesso per le uve da vino, in cui non sono stati ottenuti gli stessi benefici considerando che i programmi di incrocio hanno prodotto poche novità interessanti (Di Gaspero et al., 2013). Lo scarso successo dei risultati di questi programmi era dovuto al fatto che vi è un forte legame tra il vitigno e il suo ambiente di coltivazione, binomio definito “vitigno – *terroir*” (Fraga et al., 2013). Questo connubio conosciuto già dall'antichità ha portato a una viticoltura caratterizzata nel tempo da vini e territori di eccellenza, che ha trascurato la co-evoluzione e selezione che esiste nei sistemi biologici. Vi è un forte rapporto tra la pianta e i patogeni; in questo binomio il patogeno è in continua evoluzione (dettata dalla pressione selettiva esercitata) mentre il vitigno non è soggetto a evoluzione considerando anche che la riproduzione avviene per via vegetativa. La mancata co-evoluzione ha portato oggi a una viticoltura insostenibile dal punto di vista ambientale.

L'insostenibilità della viticoltura europea è descritta dal fatto che, sebbene interessi una minima parte della superficie agricola, impiega circa due terzi di tutti i fungicidi impiegati in agricoltura (fonte Eurostat).

Il miglioramento genetico, in questo scenario, può entrare in gioco ed essere d'aiuto per lo sviluppo di una nuova viticoltura sostenibile, per ridurre l'utilizzo di pesticidi e rimanere in linea con gli orientamenti della Politica Agricola Comune (PAC) (Di Gaspero et al., 2013). Le soluzioni alternative perseguibili possono interessare la costituzione di nuove varietà resistenti alle malattie ottenute attraverso un processo di incrocio e successiva selezione, la modificazione di vecchie varietà in resistenti (cisgenesi e *genome editing*)

VARIETÀ	INCROCIO	GENI DI RESISTENZA ALLA PERONOSPORA	RESISTENZA FENOTIPICA OSSERVATA IN CAMPO ALLA PERONOSPORA	RESISTENZA FENOTIPICA SERVATA IN CAMPO ALL'OIDIO	SUSCETTIBILITÀ ALL'ESCORIOSI
Soreli	Friulano X 20/3	Rpv3, Rpv12	+++	+/-	+++
Fluertai	Friulano X 20/	Rpv12	++	++	+
Sauvignon Nepis	Sauvignon blanc X Bianca	Rpv3	++	++	+
Sauvignon Ryros	Sauvignon blanc X Bianca	Rpv3	++	++	++
Sauvignon Kretos	Sauvignon blanc X 20/3	Rpv12	++	--	++
Merlot Kanthus	Merlot X 20/3	Rpv3	++	++	+
Merlot Khorus	Merlot X 20/3	Rpv12	++	+-	++
Cabernet Volos	Cabernet Sauvignon X 20/3	Rpv12	++	-	++
Cabernet Eidos	Cabernet Sauvignon X Bianca	Rpv3	++	++	+
Julius	Regent X 20/3	Rpv 12	++	++	+

Tab. 1 Varietà attualmente disponibili per il commercio e la coltivazione in alcune regioni italiane. A partire dalla prima colonna sono riportate queste informazioni: il nome commerciale delle nuove varietà; il codice di incrocio, i parentali dell'incrocio, i geni di resistenza per la peronospora; i geni di resistenza all'oidio. Nelle ultime tre colonne sono presentati i dati di resistenza fenotipica in campo a peronospora, oidio ed escoriosi

oppure è possibile concentrarsi sul patogeno andando a neutralizzare la sua virulenza.

Qui si propone l'approccio tradizionale al miglioramento genetico, attraverso l'incrocio tra genotipi portatori di resistenze alle più comuni malattie fungine della vite, peronospora e oidio, e cultivar di pregio del panorama viticolo italiano e internazionale. L'attività di miglioramento genetico è supportata dalla selezione assistita da marcatori. Sono, infatti, stati messi a punto protocolli per l'analisi precoce dei semenzali che segregano per le resistenze. Il lavoro svolto dall'Università di Udine, iniziato nel 1998 in collaborazione con la Regione Friuli Venezia Giulia e con l'Istituto di Genomica applicata e, attualmente, portato avanti dal Dipartimento di Scienze Agroalimentari, Ambientali e Animali.

I primi risultati ottenuti da questo programma riguardano gli incroci del 2002 e del 2003, che hanno portato alla selezione di dieci nuove varietà, cinque a bacca bianca e cinque a bacca nera, che il 28 agosto 2015 sono state iscritte nel Registro Nazionale delle Varietà di Vite del Ministero delle politiche agricole, alimentari, forestali e del turismo (Mipaaf) (tab. 1).

Nel corso degli ultimi anni sono state valutate nuove selezioni e tra queste quattro, appaiono particolarmente promettenti due delle quali hanno bacca bianca, progenie di Pinot blanc, e due hanno bacca nera, progenie di Pinot noir. Le denominazioni delle nuove varietà sono ancora in corso di definizione (Foria et al., 2019).

BIBLIOGRAFIA

- DI GASPERO G., MORGANTE M., PETERLUNGER E., CASTELLARIN S.D., CIPRIANI G., TESTOLIN R. (2013): *Dall'Università di Udine nuove varietà di vite resistenti alle malattie*, «Rivista di Frutticoltura».
- EUROSTAT (2007): *The use of plant protection products in the European Union*.
- FORIA S., MONTE C., TESTOLIN R., DI GASPERO G., CIPRIANI G. (2019): *Pyramidizing resistance genes in grape: a breeding program for the selection of elite cultivars*, «Acta Hortic.», 1248. ISHS 2019. DOI 10.17660/ActaHortic.2019.1248.73.
- FRAGA H., MALHEIRO A.C., MOUTINHO-PEREIRA J., SANTOS J.A. (2012): *An overview of climate change impacts on European viticulture*, «Food and Energy Security», 1 (2), pp. 94-110.

S. ZENONI¹, A. AMATO¹, E. D'INCÀ¹, M. PEZZOTTI¹, G. BATTISTA TORNIELLI¹

Bio-marcatori per il controllo del processo di appassimento post-raccolta dell'uva

¹ Dipartimento di Biotecnologie, Università degli Studi di Verona

L'appassimento post-raccolta dell'uva è un metodo tradizionale utilizzato per produrre vini "passiti" come l'Amarone e il Recioto nella zona della Valpolicella nel nord Italia. Questa tecnica comporta la parziale disidratazione e la conseguente concentrazione di zuccheri e altri soluti nelle bacche, e favorisce la sintesi di metaboliti e composti aromatici tipici. I cambiamenti che avvengono durante l'appassimento dipendono largamente da parametri ambientali come la temperatura e l'umidità relativa. In Valpolicella, il processo di disidratazione viene tradizionalmente condotto in locali a ventilazione naturale chiamati "fruttai", dove le condizioni ambientali interne sono strettamente dipendenti dalle condizioni climatiche esterne. Pertanto, la posizione geografica del fruttai può influenzare la qualità delle uve disidratate, in relazione al clima specifico del sito, e questo può rappresentare un elemento di valorizzazione del prodotto che ne deriva (il vino) e del suo legame con il territorio (*terroir* dell'appassimento). In altri casi, i fruttai vengono dotati di impianti per la deumidificazione e la ventilazione forzata che possono determinare cinetiche di disidratazione più rapide che modificano i metabolismi attivi all'interno degli acini in modo non sempre favorevole. È noto infatti che le condizioni che determinano basse velocità di disidratazione dell'uva e tempi di disidratazione relativamente lunghi, danno i migliori risultati in termini di qualità del vino.

L'applicazione di metodi analitici di espressione genica su larga scala su bacche in post-raccolta ha rivelato che i cambiamenti metabolici che determinano i tratti finali di qualità delle bacche disidratate sono controllati da uno specifico programma trascrittomico che si realizza dopo il distacco dei grappoli d'uva dalla vite. L'approccio analitico molecolare rappresenta pertanto un potente strumento per esplorare i metabolismi attivi durante la di-

sidratazione in diverse condizioni e può consentire di preservare la tipicità del vino collegando la sua qualità a un determinato *terroir* di appassimento e/o a una corretta procedura di disidratazione. Analizzando il programma trascrittomico nel dettaglio, in diverse varietà e condizioni di appassimento, sono stati identificati quattro geni che codificano rispettivamente per terpene sintasi, stilbene sintasi, pectinmetilesterasi e laccasi, la cui espressione aumenta durante il processo di appassimento e raggiunge livelli significativamente più elevati in processi di disidratazione caratterizzati da condizioni ambientali favorevoli e tempi relativamente lunghi. Questi geni rappresentano pertanto dei bio-marcatori del “corretto” processo di appassimento post-raccolta che prevede la completa espressione nelle bacche dei caratteri qualitativi necessari per la produzione di vini passiti di qualità.

La determinazione del profilo di espressione dei quattro bio-marcatori in uve appassite in fruttai privi di impianti di climatizzazione posizionati in diverse zone geografiche dell’area veronese, ha rivelato sostanziali differenze già dopo un breve periodo dall’inizio del processo.

Questo significa che vi sono delle strette relazioni tra le condizioni climatiche naturali del sito in cui avviene la disidratazione e la risposta molecolare delle uve disidratate.

L’utilizzo di bio-marcatori genici rappresenta quindi un potente strumento di indagine molecolare, preciso e precoce, che permette di stabilire: i) come le bacche di un determinato genotipo stanno reagendo a un determinato ambiente di disidratazione post-raccolta; ii) se le uve appassite, pronte per la vinificazione, hanno seguito un corretto protocollo di appassimento; iii) valorizzare la geotipicità del processo di appassimento condotto in fruttai posizionati in luoghi determinati (*terroir* dell’appassimento). Queste informazioni potranno essere utili alle cantine per controllare ed eventualmente mettere in atto interventi mirati per correggere o affinare le condizioni ambientali del fruttajo nel caso in cui l’espressione dei bio-marcatori si dimostri non in linea con lo sviluppo dei caratteri qualitativi attesi alla fine del processo di appassimento. Possono essere altresì utili per “certificare” che il processo sia stato condotto a regola d’arte e/o in un sito specifico di localizzazione del fruttajo.

BIBLIOGRAFIA

- BARBANTI D., MORA B., FERRARINI R., TORNIELLI GB. & CIPRIANI M. (2008): *Effect of various thermo-hygrometric conditions on the withering kinetics of grapes used for the production of “Amarone” and “Recioto” wines*, «J Food Eng», 85, pp. 350-358.

- ZAMBONI A., MINOIA L., FERRARINI A., TORNIELLI GB., ZAGO E., DELLEDONNE M. & PEZZOTTI M. (2008): *Molecular analysis of post-harvest withering in grape by AFLP transcriptional profiling*, «J Exp Bot», 59, pp. 4145-4159.
- ZENONI S., AMATO A., D'INCÀ C., GUZZO F., TORNIELLI G.B. (2020): *Rapid dehydration of grape berries dampens the post-ripening transcriptomic program and the metabolite profile evolution*, «Horticulture Research» (in press).
- ZENONI S., FASOLI M., GUZZO F., DAL SANTO S., AMATO A., ANESI A., COMMISSO M., HERDERICH M., CEOLDO S., AVESANI L., PEZZOTTI M. & TORNIELLI GB. (2016): *Disclosing the molecular basis of the postharvest life of berry in different grapevine genotypes*, «Plant Physiol», 172, pp. 1821-1843.
- ZOCCATELLI G., ZENONI S., SAVOI S., DAL SANTO S., TONONI P., ZANDONA V., DAL CIN A., GUANTIERI V., PEZZOTTI M. & TORNIELLI GB. (2013): *Skin pectin metabolism during the postharvest dehydration of berries from three distinct grapevine cultivars*, «Aust J Grape Wine Res», 19, pp. 171-179.

L'ACCADEMIA PER IL POST COVID-19

Altri contributi

Allevamenti e prodotti animali

C. AQUILANI¹, G. ARGENTI¹, E. BELLINI¹, R. BOZZI¹, A. CONFESSORE¹,
M. MORIONDO², L. NANNUCCI¹, G. PADOVAN¹, C. PUGLIESE¹,
N. STAGLIANÒ¹, C. DIBARI¹

La gestione degli animali al pascolo attraverso l'agricoltura di precisione

¹ DAGRI, Università degli Studi di Firenze

² CNR-IBIMET

Il sistema di allevamento dei bovini da carne utilizza diffusamente il pascolamento di risorse foraggere, naturali o seminate, e coniuga il basso costo di produzione degli alimenti utilizzati con le ricadute positive sul benessere e sulla salute degli animali. Tuttavia, tale gestione richiede un utilizzo razionale della risorsa pastorale per ridurre sprechi di produzione e per mantenere in equilibrio il tasso di utilizzo della risorsa foraggera da parte del bestiame, con la capacità di rigenerazione del cotico erboso (Holechek et al., 2011). In questo contesto, il pascolamento turnato si configura come una delle tecniche più efficienti per la valorizzazione della produzione foraggera in quanto massimizza l'efficienza di utilizzo delle risorse da parte degli animali valorizzando il potenziale produttivo del cotico erboso. Il pascolamento deve tuttavia tener conto della produzione di biomassa foraggera disponibile nel corso della stagione vegetativa con un monitoraggio costante, da parte degli allevatori, della produzione erbacea. Questo comporta, inevitabilmente, difficoltà di natura economica e gestionale soprattutto in aree marginali ed estensive. In ambito scientifico, l'utilizzo di indici spettrali di vegetazione da immagini telerilevate, si è mostrato particolarmente efficace per la stima della produzione di biomassa da remoto (Maselli et al., 2013). Nello specifico, l'indice di vegetazione di differenza normalizzata (NDVI), è risultato un parametro efficace e robusto per stimare la produzione di biomassa delle risorse pascolive anche in situazioni di bassa densità della copertura erbacea. Inoltre, la recente disponibilità di immagini satellitari a medio/alta risoluzione spaziale (10 m x 10 m), temporale (5 giorni) e spettrale (fino a 12 bande spettrali, a seconda della risoluzione spaziale) come quelle messe a disposizione da Sentinel 2a e 2b, consente di stimare la produzione di biomassa del cotico erboso su ampie superfici, individuando il momento più idoneo per la sua utilizzazione e quantificando

la biomassa disponibile per gli animali durante la stagione di pascolamento.

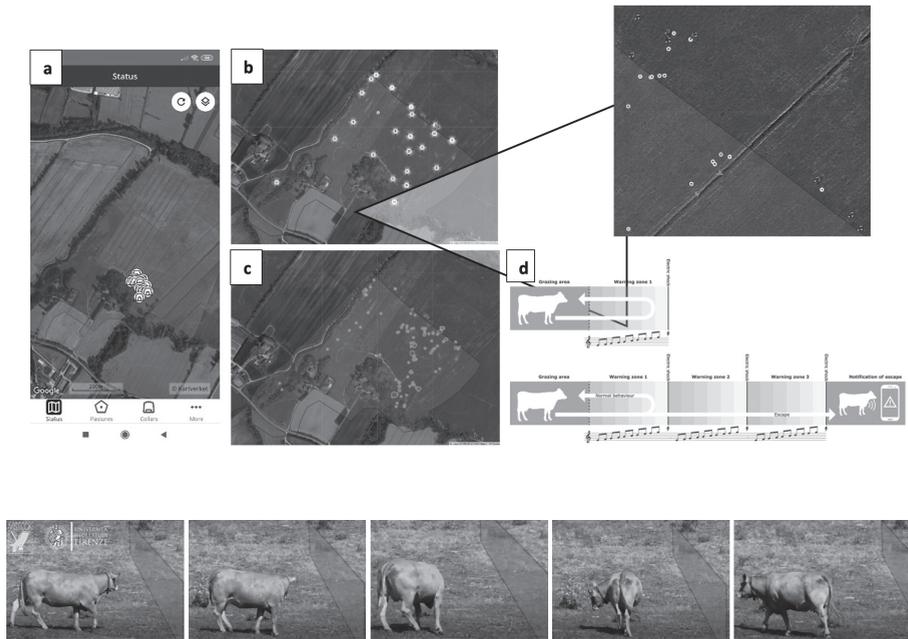
Per massimizzare gli effetti positivi del pascolamento turnato è necessario che questo si basi anche su una efficiente gestione degli spostamenti degli animali all'interno del pascolo e su informazioni di dettaglio sulla reale produzione foraggera. Infatti, la turnazione degli animali al pascolo prevede la suddivisione in appezzamenti da utilizzare in successione temporale in funzione della produzione del cotico erboso, dell'andamento meteorologico durante la stagione vegetativa e del carico animale. Tali appezzamenti vengono solitamente realizzati mediante l'impianto di recinzioni fisiche (Cavallero et al., 2002), con conseguenti alti costi legati alla loro costruzione e manutenzione, oltre che all'alto impiego di manodopera con conseguente (e frequente) rinuncia da parte degli allevatori ad applicare un tipo di pascolo a rotazione. Negli ultimi anni si è assistito a un crescente interesse da parte del mondo della ricerca nello sviluppo e sperimentazione di sistemi di controllo del movimento dei capi tramite sensori GPS applicati direttamente sugli animali attraverso collari. Inoltre, lo sviluppo della tecnologia GPS associata a dispositivi atti a "guidare" gli animali, attraverso stimoli sonori ed elettrici, nella loro attività di pascolamento, ha permesso di realizzare sistemi di gestione del pascolo denominati *Virtual Fencing*. Tali strumenti permettono non solo di conoscere la posizione di ciascun capo in tempo reale grazie al sistema GPS, ma anche di controllarne il movimento senza la necessità di posizionare/spostare recinzioni fisse, attraverso la delimitazione di precisi confini, aventi forme anche irregolari, generati in remoto mediante opportuni software GIS da tablet e/o smartphone (Bishop-Hurley, et al., 2007; Anderson, 2007; Umstatter, 2011). Brevettati per uso commerciale per la prima volta nel 1973 (Peck, 1973) per il controllo dei cani domestici, i sistemi *Virtual Fencing* sono stati utilizzati per la prima volta nel 1987 per il controllo delle capre (Fay et al., 1989). Da allora numerosi studi ne hanno sperimentato l'efficacia come strumenti per il controllo e confinamento degli animali domestici (es. Bishop-Hurley et al., 2007; Brunberg et al., 2015; Campbell et al., 2017; Campbell et al., 2018; Marini et al., 2018) e per l'ottimizzazione dell'uso del pascolo (French et al., 2015), evidenziandone le potenzialità per migliorare i processi di produzione, ridurre i costi di gestione e mantenere una risorsa foraggera di qualità. Oltre alla gestione razionale della risorsa pascoliva, garantire il rispetto del benessere animale è un requisito fondamentale da rispettare, anche considerando che condizioni di stress protratte nel tempo, influenzano negativamente sia le performance riproduttive che quelle di crescita dell'animale (Tullo et al., 2019). Pertanto, parallelamente ai sistemi di gestione spaziale della mandria, si è sviluppata recentemente una serie di dispositivi tecnologici per la *Preci-*



sion Livestock Farming, in grado di monitorare lo stato di salute dell'animale, la condizione corporea e i cicli riproduttivi. Generalmente, i parametri impiegati per la valutazione dello stato fisiologico dell'animale e per il rilevamento dei calori sono: la temperatura corporea, l'attività locomotoria e l'attività di ruminazione (Umstätter et al., 2008; Shahriar et al., 2016; Neethirajan, 2017; Reiter et al., 2018). I sensori impiegati sono integrati in collari o in marche auricolari capaci di trasmettere i dati raccolti via wireless a un software centrale che li elabora, inviando all'allevatore informazioni generali sullo stato di salute di ciascun animale e notifiche per il rilevamento tempestivo dei calori e delle criticità legate allo stato di salute. La condizione corporea (rilievi morfometrici e ponderali) avviene invece tramite l'acquisizione di immagini e loro successiva elaborazione digitale. Inizialmente pensati per l'allevamento dei bovini da latte, questi dispositivi si stanno diffondendo anche per i bovini da carne allevati mediante sistemi semibradi e bradi, dove il monitoraggio degli animali al pascolo è più difficoltoso e richiederebbe un eccessivo impiego di manodopera per le osservazioni dal vivo.

IL PROGETTO DI INNOVAZIONE E TRASFERIMENTO VISTOCK

Il Progetto VISTOCK (<https://vistock.toscanallevatori.it/>) è stato finanziato sulla misura 16.2 - PSR 2014-2020 della Regione Toscana - GAL START e ha coinvolto due allevamenti estensivi di bovini da carne del Mugello che stanno attualmente applicando le tecnologie sopra descritte su una parte dei

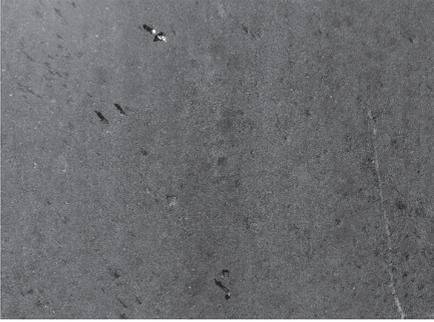


propri animali. Il progetto ha come obiettivo la messa a punto di un sistema integrato di pascolo turnato (sistema VISTOCK) che combina tecnologie e pratiche innovative sviluppate per il comparto foraggero-zootecnico basate sull'applicazione di collari *Virtual Fencing*, sistemi di rilevamento della produttività del pascolo da remoto e dispositivi di *Precision Livestock Farming*, in grado di fornire agli allevatori strumenti per un più efficiente controllo dei bovini al pascolo, ottimizzando l'utilizzazione della risorsa pascoliva e migliorando il benessere animale, la sostenibilità ambientale ed economica.

La gestione innovativa degli animali si basa sull'impiego di collari dotati di GPS, pannello solare, batteria e di un sistema di segnalazione acustica e di impulsi elettrici. Gli impulsi elettrici emessi dal collare sono paragonabili a quelli delle normali recinzioni elettrificate (0.1 joule).

I collari comunicano con un software e un'interfaccia grafica per smartphone (a) e pc desktop (b,c) che registra le posizioni degli animali e su cui è possibile tracciare dei recinti virtuali che vengono trasmessi ai collari. Sul desktop è inoltre possibile generare una mappa di densità (b) che mostra, per ciascun animale, dove ha sostato maggiormente all'interno del pascolo.

L'animale può liberamente pascolare all'interno dell'area del recinto virtuale, se si avvicina al confine riceve una segnalazione acustica (d). Se l'animale continua a procedere verso il confine virtuale, il collare emette altri segnali



acustici, se l'animale supera il confine il collare emette una piccola scossa che infastidisce l'animale inducendolo a rientrare all'interno del recinto virtuale.

Dopo alcuni giorni di training, gli animali riescono ad associare il segnale acustico allo stimolo negativo (scossa) e a rispondere al solo segnale acustico cambiando direzione e rientrando nel pascolo virtuale.

Questa tipologia di gestione della mandria permette quindi di spostare gli animali da un appezzamento all'altro del pascolo con una grande flessibilità e frequenza, impossibile da ottenere con le recinzioni fisiche. Sfruttando questa potenzialità di gestione degli animali, il progetto prevede di integrare questo sistema con le informazioni sulla produzione foraggera derivate a partire da strumenti di remote sensing (immagini satellitari, da drone e fotocamere), opportunamente calibrati. Questo permetterà di delimitare le aree dove far pascolare gli animali in funzione della quantità e qualità del pascolo durante la stagione, decidendo al contempo il carico e l'estensione di ciascun appezzamento.

L'ambizione del progetto è quindi di validare un sistema innovativo integrato per la gestione razionale del pascolo, adeguandolo alla geografia del territorio e alle esigenze aziendali di allevamenti estensivi di bovini da carne, nonché alla tipologia e alle variazioni stagionali di produttività della risorsa foraggera. Questo permetterebbe di avere una gestione sostenibile dell'allevamento, anche sotto il profilo della salvaguarda ambientale e di tutela e miglioramento del benessere animale.

BIBLIOGRAFIA

- ANDERSON D.M. (2007): *Virtual Fencing – past, present and future*, «The Rangeland Journal», 29 (1), p. 65.
- BISHOP-HURLEY G.J., SWAIN D.L., ANDERSON D.M., SIKKA P., CROSSMAN C., CORKE P. (2007): *Virtual Fencing applications: Implementing and testing an automated cattle control system*, «Comput Electron Agric.», 56 (1), pp. 14-22.
- BRUNBERG E.I., BØE K.E., SØRHEIM K.M. (2015): *Testing a new Virtual Fencing system on sheep*, «Acta Agriculturae Scandinavica», Section A — Animal Science, 65 (3-4), pp. 168-175.
- CAMPBELL D., LEA J., FARRER W., HAYNES S., LEE C., CAMPBELL D.L.M., LEA J.M., FARRER W.J., HAYNES S.J., LEE C. (2017): *Tech-Savvy Beef Cattle? How Heifers Respond to Moving Virtual Fence Lines*, «Animals», 7 (9), p. 72.
- CAMPBELL D.L.M., LEA J.M., HAYNES S.J., FARRER W.J., LEIGH-LANCASTER C.J., LEE C. (2018): *Virtual Fencing of cattle using an automated collar in a feed attractant trial*, «Applied Animal Behaviour Science», 200, pp. 71-77.
- CAVALLERO A., RIVOIRA G., TALAMUCCI P. (2002): *Pascoli, in Coltivazioni erbacee. Foraggiere e tappeti erbosi*, Baldoni R., Giardini L. (eds), Patron Editore, Bologna, pp. 239-294.
- FAY P.K., McELLIOTT V.T., HAVSTAD K.M. (1989): *Containment of free-ranging goats using pulsedradio-wave-activated shock collars*, «Applied Animal Behaviour Science», 23 (1), pp. 165-171.
- GARROUETTE E.L., HANSEN A.J., LAWRENCE R.L. (2016): *Using NDVI and EVI to map spatiotemporal variation in the biomass and quality of forage for migratory elk in the Greater Yellowstone ecosystem*, «Remote Sens.», 8 (5), p. 404.
- HOLECHEK J.L., PIEPER R.D., HERBEL C.H. (2011): *Range Management: Principles and Practices, 6th edn.*, Pearson Education, Inc.: New Jersey, NJ.
- HUETE A.R., JACKSON R.D., POST D.F. (1985): *Spectral response of a plant canopy with difference soil backgrounds*, «Remote Sens. Environ.», 17 (1), pp. 37-53.
- HUETE A.R. (1988): *A soil-adjusted vegetation index (SAVI)*, «Remote Sens. Environ.», 25 (3), pp. 195-213.
- LI F., ZENG Y., LI X.S., ZHAO Q.J., WU B.F. (2014): *Remote sensing based monitoring of interannual variations in vegetation activity in China from 1982 to 2009*, «Sci. China Earth Sci.», 57 (8), pp. 1800-1806.
- MARINI D., LLEWELLYN R., BELSON S., LEE C., MARINI D., LLEWELLYN R., BELSON S., LEE C. (2018): *Controlling Within-Field Sheep Movement Using Virtual Fencing*, «Animals», 8 (3), p. 31.

- MASELLI F., ARGENTI G., CHIESI M., ANGELI L., PAPALE D. (2013): *Simulation of grassland productivity by the combination of ground and satellite data*, «Agriculture, Ecosystems & Environment», 165, pp. 163-172.
- NEETHIRAJAN S. (2017): *Recent advances in wearable sensors for animal health management*, «Sens. Bio-Sensing Res.», 12, pp. 15-29.
- QI J., CHEHBOUNI A., HUETE A.R., KERR Y.H., SOROOSHIAN S. (1994): *A modified soil adjusted vegetation index*, «Remote Sens. Environ.», 48 (2), pp. 119-126.
- REITER S., SATTLECKER G., LIDAUER L., KICKINGER F., ÖHLSCHUSTER M., AUER W., SCHWEINZER V., KLEIN-JÖBSTL D., DRILLICH M., IWERSEN M. (2018): *Evaluation of an ear-tag-based accelerometer for monitoring rumination in dairy cows*, «J. Dairy Sci.», 101, pp. 3398-3411.
- SCHINO G., BORFECCHIA F., DE CECCO L., DIBARI C., IANNETTA M., MARTINI S. & PEDROTTI F. (2003): *Satellite estimate of grass biomass in a mountainous range in central Italy*, «Agroforestry Systems», 59 (2), pp. 157-162.
- SHAHRIAR M.S., SMITH D., RAHMAN A., FREEMAN M., HILLS J., RAWNSLEY R., HENRY D., BISHOP-HURLEY G. (2016): *Detecting heat events in dairy cows using accelerometers and unsupervised learning*, «Comput. Electron. Agric.», 128, pp. 20-26.
- TULLO E., FINZI A., GUARINO M. (2019): *Review: Environmental impact of livestock farming and Precision Livestock Farming as a mitigation strategy*, «Sci. Total Environ.», 650, pp. 2751-2760.
- ULLAH S., SI Y.L., SCHLERF M., SKIDMORE A.K., SHAFIQUE M., IQBAL I.A. (2012): *Estimation of grassland biomass and nitrogen using MERIS data*, «Int. J. Appl. Earth Obs. Geoinf.», 19 (1), pp. 196-204.
- UMSTÄTTER C., WATERHOUSE A., HOLLAND J.P. (2008): *An automated sensor-based method of simple behavioural classification of sheep in extensive systems*, «Comput. Electron. Agric.», 64, pp. 19-26.
- UMSTÄTTER C. (2011): *The evolution of virtual fences: A review*, «Computers and Electronics in Agriculture», 75 (1), pp. 10-22.
- ZHAO F., XU B., YANG X. (2014): *Remote sensing estimates of grassland aboveground biomass based on MODIS net primary productivity (NPP): a case study in the Xilingol grassland of northern China*, «Remote Sens.», 6 (6), pp. 5368-5386.

Foreste e verde urbano

M. BIZZOTTO¹

La tutela del bosco: dall'esperienza del Corpo Forestale dello Stato la nuova sfida per i Carabinieri Forestali

¹ Arma dei Carabinieri

Bosco, regno complesso e multiforme: ogni componente che si confronta con ogni altra, creando muti dialoghi collaborativi e dando vita a lotte estreme per la sopravvivenza.

Ombra tua, vita mea, per l'albero che per primo riesce a filare in uno spazio libero di luce e lascia le altre piantine, aduggiate alla sua ombra.

La ricchezza di questo mondo complesso si appalesa anche in un fermo immagine da remoto: quando poi si mette un piede in ambiente tanta ricchezza quasi confonde e, per capire, comprendere, interpretare (azioni preliminari necessarie prima di decidere, pianificare, attuare, verificare) deve intervenire la scienza. La scienza che ci ha accompagnato sui libri, con le parole dei nostri formatori e la sensibilità sviluppata, ci ricorda in ogni momento che il bosco respira a un ritmo che non è il nostro, che il nostro intervento nel bosco deve avere l'umiltà di riconoscere che siamo parte di un ciclo vitale ben più grande, dove siamo ospiti e – perché noi lo abbiamo deciso univocamente – gestori di questo bene. E questo incarico comporta necessariamente una visione integrata per cogliere ogni piano nel quale si sviluppa, fuori terra come sotto terra. Valore alla chioma, parola alle radici, spazio per la terra, attenzione alle caratteristiche abiotiche e stazionali: semplicemente, al tutto.

Gestione comporta necessariamente una visione, un piano, un progetto ma comporta anche l'eventualità che quanto viene attuato ed effettuato si discosti dal piano, dalla norma, dal dettato.

E ora come allora, quando si cominciò a profilare la necessità di regolamentare le funzioni del bosco, si parla di tutela: del bosco dall'uomo politico, del legname dall'uomo amministratore, dell'albero dall'uomo predatore, dai suoi innumerevoli e ricchi frutti dall'uomo esploratore.

Bosco silente, la tutela che gli garantiamo per salvaguardarlo da noi stessi è dovuta: il bosco non grida e i custodi dei suoi segreti non vantano scranni privilegiati sotto i riflettori.

Viene quindi esercitato un controllo che deriva da un quadro normativo, variegato e non sempre coerente, ma che sostanzialmente interpreta la necessità di continuare a gestire: una volta che l'uomo ha alterato gli equilibri è sua incombenza cercare di leggere le modifiche apportate e di creare un equilibrio nuovo, artificiale. Per molto tempo l'equilibrio è stato creato esclusivamente in funzione del valore economico del bosco e alla necessità di perpetuare il profitto.

L'uomo al centro, re indiscusso anche nel bosco. Ora sicuramente la visione è cambiata, l'uomo pare aver fatto un passo di lato e si comincia a parlare della Natura come soggetto giuridico detentore di diritti.

Tutela a preservare e perpetuare per le generazioni future e per ogni altro abitante del bosco.

La tutela umana del complesso bene bosco per tutelarlo solamente dall'uomo. Il bosco che, a onor del vero, in migliaia di anni non aveva avvertito il bisogno della nostra presenza. Tutti i soggetti preposti a vario titolo al compito di tutela e salvaguardia devono mantenersi in costante dialogo con l'ambiente che proteggono. Non si tratta di una mera applicazione normativa, questo contesto non permette questa semplificazione: serve saper spaziare con lo sguardo e dedicare attenzione a ogni componente perché in questa biodiversità naturale si inserisce la diversità delle fruizioni che l'uomo chiede o pretende, dal bosco. E questo lo fanno bene gli operatori dell'ex Corpo Forestale dello Stato, di recente divenuti una Unità dell'Arma dei Carabinieri.

Riconoscere i diversi attori che frequentano questo ambiente è questione di esperienza, sensibilità, passione e costante aggiornamento. C'è chi lo frequenta per lavoro, chi vive di bosco e di legname. E la tempesta Vaia ha insegnato che anche in questi casi la pianificazione tradizionale e operosa può essere spazzata via da una notte tempestosa. E in questo caso la priorità è nel dare la possibilità alle superfici denudate di poter ripartire quanto prima. La necessità che gli appalti siano controllati e il legname non si allontani dal bosco senza essere tracciato. La necessità che l'erpicoltura dell'esbosco faciliti l'attecchimento dei semi che aspettavano la luce per germogliare e non sia uno stravolgimento sterilizzante degli orizzonti. La necessità che ogni pendio sia monitorato: che una pioggia più violenta non impoverisca gli orizzonti fertili lisciviando e allontanando sostanze preziose per ricominciare. E il forestale deve riconoscere il ritmo della natura così come ogni documento che definisce tempi e modi per il prelievo.

C'è chi ha sempre vissuto la dimensione del bosco quasi come se quest'ultimo fosse un genitore surrogato, sempre pronto a offrire legna per la stufa, funghi, frutti ed erbe per nutrirsi.

È necessario accompagnare la moltitudine di quelli che “ma io ho sempre fatto così e anche mio papà e mio nonno” e ricordare la finitezza della risorsa se non è garantita la possibilità di perpetuazione. Ribadire che non deve prevalere l'istinto di accaparrarsi cose sulla base del desiderio di ritrovarle, anche il prossimo anno. Allora la presenza di un forestale preparato può essere deterrente per azioni di predazione in totale difformità da quanto autorizzato.

Il cacciatore, il fungaiolo che non rispettano la norma e a volte neppure il buonsenso: che provano una sorta di trionfalistica vittoria nel rubare un bene che non era consentito. Alle nostre latitudini non si caccia e non si raccolgono più frutti e suffrutici per fame: a volte sembra prevalere più il gusto effimero di gabbare il controllore che il desiderio di appropriarsi del bene illecitamente prelevato. Ma cacciatori e raccoglitori possono essere ottimi alleati se si mettono dalla parte del bosco e considerano il forestale quale custode di questo bene e riportano fedelmente situazioni anomale che possono aiutare a intervenire o prevenire la commissione di un reato o di un illecito.

C'è chi cammina per i boschi. La bellezza di camminare nel bosco e godere di ogni beneficio che ne deriva, deve farsi rispettosa in ogni sua espressione. E il forestale è lì per ricordarlo, per mostrare il sentiero e per ricordare quanto importante sia non allontanarsi da questo.

E ogni volta ecco il forestale, fino a tre anni fa appartenente al Corpo Forestale dello Stato e ora parte dell'Unità Forestale, Ambientale e Agroalimentare dell'Arma dei Carabinieri.

È una sola frase ma racconta di un intreccio con la storia senza precedenti: lo stravolgimento di una storia centenaria, un nuovo modo di affrontare questo meraviglioso compito e mille varianti che spuntano.

Quella che era una realtà di nicchia, meno di diecimila persone che operavano in tutte le regioni italiane a statuto ordinario, è diventata un ramo di un'organizzazione molto più grande, una realtà diversa per storia e per missione, che ora ci annovera tra le sue fila.

E la sovrapposizione di queste due realtà sta ancora prendendo le misure per convivere nel modo più efficiente e operativo possibile. Da una parte la storia forestale che si è avvantaggiata spesso di figure esemplari e singolari che hanno saputo interpretare e custodire un ambiente così eccezionale, dall'altra una realtà più complessa dove la forma e un procedimento ben definito sono necessari per garantire organizzazione interna e sicurezza in tutti gli ambienti nel Paese, ora anche nelle cose di bosco.

Gli uomini che percorrono i boschi sono sempre gli stessi: il personale che si dedica alla salvaguardia delle zone boschive ha ai piedi sempre gli scarponi, al collo un binocolo e un bagaglio di esperienza maturata ogni giorno, in ogni singola attività di controllo. È importante che la figura del carabiniere forestale riconosca le due anime che devono accompagnare ogni sopralluogo: la conoscenza dell'ambiente e la conoscenza della norma, a sostegno una dell'altra, non in conflitto.

Nel panorama di questa grande storia si inserisce anche il mio percorso: dopo un decennio di attività professionale in bosco ho deciso di affrontare un nuovo percorso, non più selvicolturale e gestionale, ma di esclusiva tutela, entrando nel Corpo Forestale dello Stato. Ora, da carabiniere forestale, lavoro presso il Centro di Eccellenza per le Unità di Polizia di Stabilità (CoESPU), realtà ricchissima e affascinante rivolta alla formazione di operatori di polizia, militari e civili, di Paesi stranieri che operano in aree con gravi carenze istituzionali, in fase di post-conflitto e nella gestione delle emergenze.

Qui la mia dimensione di forestale si è ulteriormente arricchita e ampliata: dal bosco dell'arco alpino ad abbracciare formazioni boschive a ogni latitudine. A comprendere che la Strategia Forestale Nazionale deve essere in armonia con il Piano strategico delle foreste delle Nazioni Unite per il 2017-2030 e che noi, nel nostro piccolo e diversificato Paese, dobbiamo concorrere al meglio ai suoi obiettivi di sostenibilità con uno scadenziario preciso. In questo contesto lo sguardo si amplia a considerare ad esempio strumenti come "Agenda 2030 per lo sviluppo sostenibile", programma d'azione sottoscritto nel settembre 2015 dai governi membri dell'ONU che evidenzia i 17 *Sustainable Development Goals*, obiettivi che puntano ad armonizzare la crescita economica, l'inclusione sociale e la tutela dell'ambiente per tutto il globo. Il messaggio forte di questo ambizioso programma sottolinea che un ambiente salubre e vitale è necessario per garantire migliore qualità di vita alla comunità spesso rurale e che vive di agricoltura e pastorizia, una qualità di vita migliore delle comunità è premessa di convivenza pacifica, quest'ultima elemento imprescindibile per uno sviluppo sostenibile. Ogni processo di pacificazione si deve declinare anche attraverso un forte impegno di prevenzione e contrasto delle problematiche ambientali.

La pace passa attraverso la cura e tutela dei boschi, in tutte le sue diverse espressioni: il 30% delle terre emerse, ad ogni latitudine e con formazioni variegata e sempre in evoluzione.

Il compito di tutelare il bosco parla una lingua globale.

E diventa evidente quanti altri problemi ed emergenze minaccino i boschi del Pianeta anche se il denominatore comune rimane la mano, avida o affamata, dell'uomo.

Gli scarponi ai piedi ogni giorno, il lavoro a stretto contatto con boscaioli e operai forestali per condividere le attività di rilievo e misurazione, le giornate invernali passate a redigere i progetti di taglio sulla scorta delle indicazioni del Piano pluriennale sono stati parte della mia storia. E anche se attualmente non partecipo direttamente all'attività di salvaguardia e tutela dei boschi nel mio territorio sono un dottore forestale e lo sarò per sempre.

Il mio modo di occuparmi di bosco ha solo cambiato la veste: il senso forte dell'importanza della tutela e della preservazione di un ambiente così ricco accompagna ogni mio passaggio lavorativo, è una mia parte sostanziale.

Tutelare i boschi si declina ora anche attraverso la formazione e l'informazione: quando mi confronto con i corsisti del Coespu e racconto storie di questi nostri boschi incontro a volte sguardi che, come il mio, si illuminano a parlare di foreste e di piante che perpetuano il ciclo della vita. E poco importa se io penso all'abete rosso e loro all'eucalipto, se io parlo di una faggeta e loro della savana. Storie di boscaglie di cespugli al limitare del deserto a difesa degli abitati e del pascolo delle capre. Storie di piantine, messe a dimora da un contingente nel corso di una missione delle Nazioni Unite, la cui tutela e cura è diventata parte integrante del passaggio di consegne con il contingente subentrante.

Si tratta della stessa sensibilità, dello stesso tipo di tutela, dello stesso tipo di entusiasmo che accomuna ogni persona che vuole preservare l'ambiente.

Una unica costante e le sue infinite variabili, il bosco.

C. VETTORI¹, C. GAROSI², D. TRAVAGLINI², D. PAFFETTI²

Integrare i principi della genetica adattativa e la selvicoltura: un sistema di risposta ai cambiamenti climatici

¹ IBBR, Consiglio Nazionale delle Ricerche

² DAGRI, Università degli Studi di Firenze

L'importanza delle foreste è, ormai da tempo, ampiamente riconosciuta a livello globale. Le foreste europee ospitano una parte dominante della biodiversità terrestre, coprendo una vasta gamma di zone climatiche e tipologie forestali e contribuiscono in modo significativo alla mitigazione dei cambiamenti climatici (EEA, 2010). Secondo Nabuurs et al. (2015), le foreste eliminano circa 430 Mt di diossido di carbonio (CO₂) e immagazzinano il 13% delle emissioni di gas serra (GHG) d'Europa. Oltre ai molteplici servizi ecosistemici, questi ecosistemi offrono un ampio spettro di *benefit* economici e sociali alla popolazione.

Come è noto, il funzionamento degli ecosistemi dipende dall'adattamento degli organismi viventi al loro ambiente chimico-fisico. Secondo Lefèvre et al. (2014), una delle maggiori minacce degli ecosistemi forestali è data dal potenziale "disadattamento" degli alberi alle condizioni locali, che può provocare disfunzioni come il deperimento della foresta o la diminuzione del potenziale di affermazione della rinnovazione, e può anche influenzare le interazioni biotiche tra gli individui e le specie ad essi associate. In base a quanto riportato nel report dell'*European Environment Agency*, il numero e la varietà delle minacce agli ecosistemi sta aumentando: il cambiamento climatico, l'inquinamento atmosferico, la gestione forestale, l'aumento di specie invasive, l'urbanizzazione e la frammentazione del paesaggio sono fattori che stanno influenzando negativamente gli equilibri di questi ecosistemi e che porteranno ad una ridotta capacità di adattamento futuro e ad una diminuzione del potenziale di resilienza delle foreste (EEA, 2010).

Come riportato da Paffetti et al. (2012), la variazione genetica intrinseca di ogni organismo vivente contribuisce direttamente alla capacità interna degli ecosistemi forestali di reagire ai disturbi ambientali e ai cambiamenti climatici.



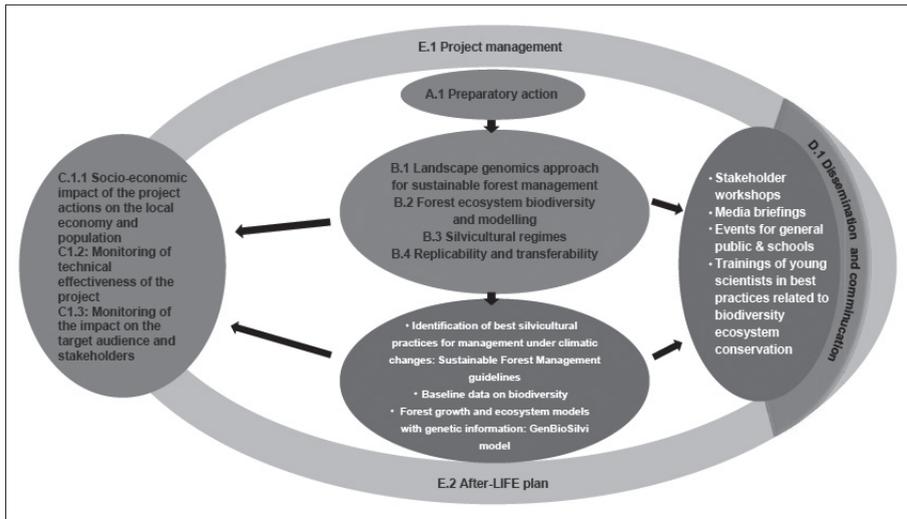
Bosco vetusto di Fonte Novello (Parco Nazionale del Gran Sasso e Monti della Laga) riferimento bibliografico Paffetti et al. (2012)

La diversità genetica, quindi, è un tassello fondamentale per la sopravvivenza e per l'evoluzione delle popolazioni mediante la risposta specifica a differenti stimoli ambientali. Tutto questo rappresenta ancor di più una criticità per quanto riguarda i popolamenti forestali, data la loro limitata mobilità, i lunghi periodi di tempo per raggiungere la maturità riproduttiva e, più in generale, i lunghi cicli vitali. Secondo quanto riportato da Lefevrè et al. (2014), all'interno di ogni popolazione forestale, la variazione genetica nei tratti adattativi, plasticità ed evolvibilità (intesa come tutti i meccanismi implicati nell'insorgenza di mutazioni o riarrangiamenti che avvengono a livello di genoma/organismo/popolazione/specie), risultante dalla combinazione di processi casuali e selettivamente orientati, può essere influenzato dalla tipologia di gestione. La FAO, nel 2014, ha lanciato un piano d'azione globale per la conservazione, l'uso sostenibile e lo sviluppo delle risorse genetiche forestali, dopo aver riconosciuto come la gestione della diversità genetica dei soprassuoli forestali abbia un ruolo chiave nel promuovere le risposte adattative degli alberi ai cambiamenti climatici in atto e nel mitigare gli effetti deleteri di parassiti e/o malattie, portando ad un aumento della resilienza complessiva degli ecosistemi.

Una corretta gestione permette di ottenere dalle foreste una vasta gamma di benefici e servizi. La pianificazione di trattamenti selvicolturali specifici per gli ecosistemi forestali può guidare il recupero di foreste danneggiate da precedenti usi antropogenici, da disastri naturali o dirigere lo sviluppo di terreni non forestali verso condizioni più complesse. Fino a pochi decenni fa, l'obiettivo della gestione forestale si concentrava principalmente sulla produzione di legname, con alcune eccezioni come la gestione a scopi di protezione da erosione e/o valanghe nelle regioni montane (Messier et al., 2019). La gestione forestale ha sempre dovuto affrontare il problema associato a una necessaria pianificazione a lungo termine (a causa dei lunghi cicli vitali degli alberi forestali), mentre le condizioni del sito, in particolare i parametri climatici, sono stati generalmente considerati più o meno costanti. Tuttavia, la crescente preoccupazione per la perdita di biodiversità e l'accelerazione dei cambiamenti climatici, con il conseguente livello di incertezza, richiedono un cambiamento e una rivalutazione della gestione. Secondo quanto riportato da Messier et al. (2019) e da Lefèvre et al. (2014), interpretare gli ecosistemi come sistemi adattativi complessi, potrebbe servire per comprendere la complessità delle interazioni e come il sistema si adatti alle mutevoli condizioni.

Nell'articolo di Messier et al. (2019) viene presentato un quadro riassuntivo delle principali categorie di gestione forestale, suddivise in base al cambiamento del pensiero avvenuto negli ultimi decenni dettato dalla necessità di soddisfare esigenze della società differenti. Un tema comune a tutte le strategie proposte è l'attuazione di piani di gestione finalizzati ad accrescere la diversificazione (in termini di composizione e struttura) delle comunità forestali esistenti e ad aumentare l'abbondanza delle specie più adatte alle condizioni climatiche future. Gran parte delle linee guida di gestione per l'adattamento al cambiamento climatico si concentrano poi sul mantenimento dei processi ecologici esistenti, utilizzando metodi di adattamento. Tuttavia, un elemento chiave delle dinamiche forestali che ha ricevuto scarsa attenzione è quello dell'intensificazione dell'interazione fra gestione forestale, diversità genetica ed impatti del cambiamento climatico.

L'aspetto genetico del soprassuolo viene raramente considerato nello sviluppo e nella valutazione delle strategie di gestione adattativa. Le pratiche selvicolturali potrebbero consentire un'accelerazione dell'adattamento genetico aiutando le popolazioni a seguire i cambiamenti in atto attualmente conosciuti e a preservare la diversità genetica come "*serbatoio*" di opzioni future (insorgere di nuove combinazioni genetiche innovative) per rispondere ai cambiamenti sconosciuti. Secondo Lefèvre *et al.* (2014), la gestione dei soprassuoli forestali può aumentare il potenziale di adattamento al cambia-



Attività del progetto LIFE SySTEMiC e principali risultati

mento climatico secondo tre strategie: i) una strategia a *pieno-controllo*, che consiste nel rimpiazzare la popolazione locale con una presumibilmente a miglior fitness; questo viene raggiunto con una piantumazione di materiale riproduttivo forestale che permette un notevole step in avanti nella risposta agli stress ambientali ma necessita della totale sicurezza dell'integrazione delle specie non autoctone; ii) una strategia *guidata*, che consiste nel supportare e accelerare la naturale evoluzione utilizzando le risorse genetiche forestali che sono già integrate con l'ambiente; iii) una strategia *combinata*, che segue i principi delle due strategie precedenti, ovvero supportare e accelerare l'evoluzione naturale del soprassuolo a seguito dell'introduzione di una necessaria quantità di materiale non autoctono. Nell'articolo, gli autori, focalizzandosi sulle ultime due strategie, propongono un interessante approccio di gestione che accoglie tutti gli aspetti citati all'inizio del paragrafo; l'approccio gestionale proposto, denominato *evolution-oriented forestry*, che integra il miglioramento dei processi evolutivi, aumenta la possibilità della comparsa di combinazioni genetiche innovative, facilita la diffusione dei miglior genotipi all'interno della popolazione e preserva la diversità genetica per affrontare i cambiamenti ambientali futuri. Questo esempio di gestione selvicolturale potrebbe essere un notevole passo in avanti per il futuro dei soprassuoli italiani ed europei. Infatti, come detto, il mantenimento della diversità genetica dovrebbe essere integrato fra gli obiettivi principali dei piani di gestione forestale a lungo termine, al fine di poter permettere a questi ecosistemi complessi

di affrontare con successo i futuri e imprevedibili mutamenti climatici che la crisi climatica comporterà. Dati pubblicati hanno dimostrato come foreste sviluppate per anni in assenza di alcuna gestione, presentano una complessa e non-randomizzata struttura genetica spaziale, in cui ogni sottopopolazione rappresenta un cluster familiare specifico. Risultati simili sono stati osservati anche in foreste gestite (Paffetti *et al.*, 2012), indicando che un soprassuolo può essere gestito, e quindi essere produttivo, pur mentendo la diversità genetica. Sebbene alcuni studi abbiano evidenziato l'assenza di un netto effetto della gestione sulla variabilità genetica, comparando un soprassuolo gestito con uno non gestito, è stata anche osservata una diminuzione del numero di alleli rari ed una struttura spaziale molto meno complessa nel soprassuolo gestito.

IL PROGETTO LIFE “CLOSE-TO-NATURE FOREST SUSTAINABLE MANAGEMENT PRACTICES UNDER CLIMATE CHANGES” (SYSTEMIC)

Un esempio di integrazione tra genetica e selvicoltura è rappresentato dal progetto LIFE SySTEMiC (*Close-to-nature forest sustainable management practices under climate changes*). Il progetto, finanziato dal programma LIFE dell'Unione Europea, esamina le migliori pratiche selvicolturali sostenibili per quanto riguarda le risorse genetiche forestali in differenti tipologie forestali europee, comparando differenti situazioni di gestione con foreste non gestite, al fine di preservare il potenziale di adattamento degli ecosistemi (<https://www.lifesystemic.eu/>).

L'obiettivo di LIFE SySTEMiC è sostenere la stabilità e la connettività delle foreste nei cambiamenti climatici e la loro adattabilità agli ambienti futuri. Pertanto, lo scopo principale di LIFE SySTEMiC è quello di utilizzare una combinazione delle metodiche di genomica, di modellizzazione e metodi selvicolturali per sviluppare un modello innovativo “genetico, biodiversità e silvicolturale (*GenBioSilvi*)” da utilizzare come strumento per una gestione sostenibile delle risorse forestali (*Sustainable Forest Management*). L'approccio multidisciplinare del progetto LIFE SYSTEMiC prevede di:

- i) utilizzare metodi innovativi o adattati per valutare la *Sustainable Forest Management* considerando la conservazione delle risorse genetiche forestali e della biodiversità;
- ii) valutare la capacità di rigenerazione naturale delle foreste “*close-to-nature*” nell'ambito di diversi trattamenti selvicolturali e in relazione ai cambiamenti climatici;

iii) sostenere un'interfaccia di discussione comune tra le parti interessate, tra cui enti gestori, enti di ricerca, enti accreditati per la certificazione forestale, selvicoltori, autorità di conservazione al fine di trasferire gli strumenti sviluppati nel progetto.

La multidisciplinarietà e "multi-territorialità" del presente progetto, permetterà anche di fornire linee guida specifiche per la gestione sostenibile delle foreste per mantenere nel tempo la biodiversità, risorse genetiche forestali e la produttività delle foreste.

La responsabile scientifica e coordinatrice del progetto è la professoressa Donatella Paffetti del Dipartimento di Scienze e Tecnologie Agrarie, Agroalimentari, Ambientali e Forestali (UNIFI-DAGRI), dell'Università degli Studi di Firenze.

BIBLIOGRAFIA

- EEA (2010): *Forest dynamics in Europe and their ecological consequences*, EEA Report No 5/2010, European Environment Agency. Doi:10.2800/964893.
- FAO (2014): *Global plan of action for the conservation, sustainable use and development of forest genetic resources*, Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). ISBN: 978-92-5-108422-9. Il testo completo è disponibile a: <http://www.fao.org/3/a-i3849e.pdf> (10 novembre 2020).
- LEFÈVRE F., BOIVIN T., BONTEMPS A., COURBET F., DAVI H., DURAND-GILLMANN M., FADY B., GAUZERE J., GIDOIN C., KARAM M.-J., LALAGÜE H., ODDOU-MURATORIO S., PICHOT C. (2014): *Considering evolutionary processes in adaptive forestry*, «Annals of Forest Science», 71, pp. 723-739. doi.org/10.1007/s13595-013-0272-1.
- MESSIER C., BAUHUS J., DOYON F., MAURE F., SOUSA-SILVA R., NOLET F., MINA M., AQUILUÉ N., FORTIN M.-J., PUETTMANN K. (2019): *The functional complex network approach to foster forest resilience to global changes*, «For. Ecosyst.», 6, 21. doi.org/10.1186/s40663-019-0166-2
- NABUURS G.-J., DELACOTE P., ELLISON D., HANEWINKEL M., LINDNER M., NESBIT M., OLLIKAINEN M., SAVARESI A. (2015): *A new role for forests and the forest sector in the EU post-2020 climate targets. From Science to Policy 2*, European Forest Institute. doi.org/10.36333/fs02
- PAFFETTI D., TRAVAGLINI D., BUONAMICI A., NOCENTINI S., VENDRAMIN G.G., GIANININI R., VETTORI C. (2012): *The influence of forest management on beech (Fagus sylvatica L.) stand structure and genetic diversity*, «Forest Ecology and Management», 284, pp. 34-44. doi.org/10.1016/j.foreco.2012.07.026.

Frutticoltura e orticoltura

P. RANALLI¹

Varietà di fagiolo nano e di patata con buone caratteristiche quanti-qualitative

¹ Già Istituto di Colture Industriali del CRA

Segnaliamo queste varietà di colture ortive che sono state ottenute, alcuni anni fa, da parte dell'allora Istituto di Colture Industriali del CRA diretto da Paolo Ranalli.

Tutte le varietà segnalate, le cinque di fagiolo nano e quella di patata, hanno caratteristiche decisamente buone sul piano della loro valutazione agronomica e qualitativa. Riteniamo pertanto utile portare a conoscenza degli utilizzatori la disponibilità delle seguenti varietà orticole; la loro ulteriore diffusione può essere di aiuto alla orticoltura di pieno campo.

VARIETÀ DI FAGIOLO NANO "ACHILLE"

Origine

Varietà ottenuta dall'incrocio "Supremo" x "Efesto" nell'ambito di un programma di breeding finanziato dal Consorzio per la Valorizzazione delle Sementi (CONVASE) di Bologna.

Varietà a ciclo medio-tardivo con granella di grossa dimensione, di forma ellittica reniforme, con screziature rosse. Resistenza a BCMV conferita dal gene *I*. Selezionata a Bologna, presso l'Istituto Sperimentale per le Colture Industriali (ISCI), e diffusa commercialmente nel 2012.

Privativa CPVO per ritrovati vegetali rilasciata (n° 35918 del 29/7/2013).

Gestione per lo sfruttamento commerciale

Consorzio per la Valorizzazione delle Sementi, Bologna (www.convase.it)

Costitutori

Bruno Parisi (CRA-CIN) (www.entecra.it)

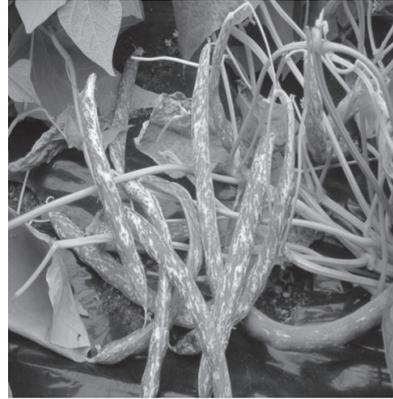
Concessionari (al 15 settembre 2013)

L'Ortolano srl, Cesena (www.ortolano.com)

Descrizione

Presenta durata del ciclo biologico più lunga di 6/7 giorni rispetto a "Etna" (varietà di riferimento), da cui differisce per una maggiore lunghezza e screziatura rossa dei baccelli. Pianta produttiva, vigorosa, a portamento eretto, resistente alla defogliazione di fine ciclo. Baccello a profilo dritto con elevata intensità delle screziature, lungo 20-22 cm, con 7-8 semi. La notevole lunghezza del baccello (una delle più elevate tra le varietà oggi presenti sul mercato) e le sue attraenti screziature rendono "Achille" particolarmente adatto al mercato fresco.

Adatto alla coltivazione sia in coltura protetta che in piena area. La pianta necessita di terreni fertili e sani in quanto è suscettibile a fusariosi e rizottoniosi.



VARIETÀ DI FAGIOLO NANO "BURAN"

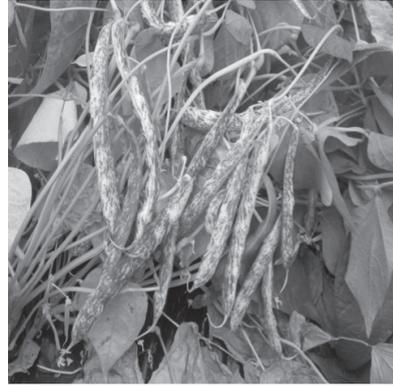
Origine

Varietà ottenuta dall'incrocio "Talento" x "Splendido" nell'ambito di un programma di breeding finanziato dal Consorzio per la Valorizzazione delle Sementi (CONVASE) di Bologna.

Varietà a ciclo precoce con granella di medio-grande dimensione, di forma tondo-ovale, con screziature rosse. Resistenza a BCMV conferita dal gene *I*.

Selezionata a Bologna, presso l'Istituto Sperimentale per le Colture Industriali (ISCI), e diffusa commercialmente nel 2012.

Privativa CPVO per ritrovati vegetali rilasciata (n° 35916 del 29/7/2013).

**Gestione per lo sfruttamento commerciale**

Consorzio per la Valorizzazione delle Sementi, Bologna (www.convase.it)

Costitutori

Bruno Parisi (CRA-CIN) (www.entecra.it)

Concessionari (al 15 settembre 2013)

L'Ortolano srl, Cesena (www.lortolano.com); Sais Sementi spa, Cesena (www.saissementi.it)

Descrizione

Ha una durata del ciclo biologico 1/2 più breve di "Etna" (cultivar di riferimento sul mercato), da cui differisce per una maggiore lunghezza e screziatura rossa dei baccelli. Maturazione contemporanea con pianta produttiva, vigorosa, a portamento eretto, resistente alla defogliazione di fine ciclo. Baccello a profilo dritto con elevata intensità delle screziature, lungo 15-16 cm, con 5-6 semi. Idonea alla commercializzazione per il mercato fresco ed adatta alla coltivazione sia in coltura protetta che in piena area. È stata giudicata di interesse anche per le zone vocate alla produzione di fagiolo borlotto da surgelazione. La pianta necessita di terreni fertili e sani in quanto è suscettibile a fusariosi e rizottoniosi.

VARIETÀ DI PATATA “MELROSE”

Origine

Varietà ottenuta dall'incrocio “Laura” x “ISCI 7/96-8” nell'ambito di un programma di breeding finanziato dalla Menarini & C. srl di Bologna. Varietà a ciclo medio-tardivo con tuberi di forma ovale con buccia di colore rosa intenso, pasta giallo-arancio. Tipologia culinaria CB, con pasta di media consistenza, bassa granulazione, asciutta e farinosa.

Resistenza al nematode dorato (patotipo Ro1) conferita dal gene *H1*.

Selezionata a Bologna nel 2003, presso l'Istituto Sperimentale per le Colture Industriali (ISCI), e diffusa commercialmente nel 2012.

Privativa CPVO per ritrovati vegetali rilasciata (n° 31618 del 20/2/2012).

Gestione per lo sfruttamento commerciale

Menarini & C. srl, Granarolo Emilia, BO
(www.menariniimportexport.it)

Costitutori

Bruno Parisi (CRA-CIN) (www.entecra.it)

Concessionari (al 15 settembre 2013)

Cooperativa Produttori Sementi della
Pusteria, Brunico, BZ (www.patatebrunico.it)

Descrizione

Varietà adatta al frigo-stoccaggio prolungato (tuberi a lunga dormienza). Elevata resistenza all'imbrunimento enzimatico. In diverse prove di conservazione a bassa temperatura ha evidenziato ottima tenuta all'addolcimento da freddo e all'invecchiamento fisiologico, mostrando bassi livelli di accumulo di zuccheri riducenti. L'intensa colorazione gialla della pasta è determinata da un maggior accumulo di carotenoidi totali (tra i più alti nelle varietà attualmente coltivate). Tuberi con occhi superficiali, buona lavabilità e sostanza secca medio-elevata (21-22%). Doppia destinazione d'uso: mercato fresco (fritture domestiche, forno) e industria (chips e prefritti surgelati).



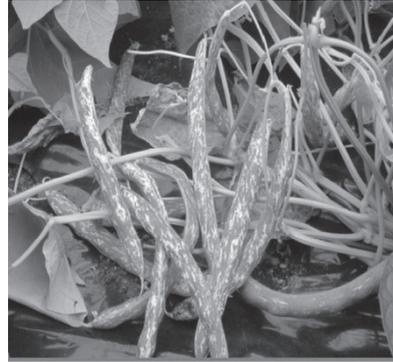
VARIETÀ DI FAGIOLO NANO "ERACLE"

Origine

Varietà ottenuta dall'incrocio "Supremo" x "Efe-sto" nell'ambito di un programma di breeding finanziato dal Consorzio per la Valorizzazione delle Sementi (CONVASE) di Bologna. Varietà a ciclo medio con granella di medio-grande dimensione, di forma ovale, con screziature rosse. Resistenza a BCMV conferita dal gene I.

Selezionata a Bologna, presso l'Istituto Sperimentale per le Colture Industriali (ISCI), e diffusa commercialmente nel 2012.

Privativa CPVO per ritrovati vegetali rilasciata (n° 35919 del 29/7/2013).

**Gestione per lo sfruttamento commerciale**

Consorzio per la Valorizzazione delle Sementi, Bologna (www.convase.it)

Costitutori

Bruno Parisi (CRA-CIN) (www.entecra.it)

Concessionari (al 15 settembre 2013)

Sais Sementi spa, Cesena
(www.saissementi.it)

Descrizione

Ha durata del ciclo biologico 2/3 giorni in più rispetto a "Etna" (varietà commerciale di riferimento), da cui differisce per una maggiore lunghezza e screziatura rossa dei baccelli. Pianta produttiva, vigorosa, a portamento eretto, resistente alla defogliazione di fine ciclo. Baccello a profilo dritto con elevata intensità delle screziature, lungo 17-19 cm, con 6-7 semi. Molto buona la concentrazione di maturazione dei baccelli.

L'elevata lunghezza del baccello e le sue attraenti screziature rendono "Eracle" particolarmente adatto al mercato fresco.

Adatto alla coltivazione sia in serra che in piena area. La pianta necessita di terreni fertili e sani in quanto è suscettibile a fusariosi e rizottoniosi.

VARIETÀ DI FAGIOLO NANO “ETTORE”

Origine

Varietà ottenuta dall'incrocio “Efesto” x “Supremo” nell'ambito di un programma di breeding finanziato dal Consorzio per la Valorizzazione delle Sementi (CONVASE) di Bologna.

Varietà a ciclo medio con granella di medio-grande dimensione, di forma ovale, con screziature rosse. Resistenza a BCMV conferita dal gene *I*.

Selezionata a Bologna, presso l'Istituto Sperimentale per le Colture Industriali (ISCI), e diffusa commercialmente nel 2012.

Privativa CPVO per ritrovati vegetali rilasciata (n° 35920 del 29/7/2013).



Gestione per lo sfruttamento commerciale

Consorzio per la Valorizzazione delle Sementi, Bologna (www.convase.it)

Costitutori

Bruno Parisi (CRA-CIN (www.entecra.it))

Concessionari (al 15 settembre 2013)

L'Ortolano srl, Cesena (www.ortolano.com)

Descrizione

Durata del ciclo biologico 3/4 giorni più lunga di “Etna” (varietà di riferimento), da cui differisce per una maggiore lunghezza e screziatura rossa dei baccelli.

Pianta produttiva, vigorosa, a portamento eretto, resistente alla defogliazione di fine ciclo. Baccello a profilo dritto con elevata intensità delle screziature, lungo 18-20 cm, con 6-7 semi. Molto buona la concentrazione di maturazione dei baccelli e la raccolta in soluzione unica.

L'elevata lunghezza del baccello e le sue attraenti screziature rendono “Ettore” particolarmente adatto al mercato fresco. Adatto alla coltivazione sia in serra che in piena area. La pianta necessita di terreni fertili e sani in quanto è suscettibile a fusariosi e rizottoniosi.

VARIETÀ DI FAGIOLO NANO “GRECALE”

Origine

Varietà ottenuta dall'incrocio “Efesto” x “Supremo” nell'ambito di un programma di breeding finanziato dal Consorzio per la Valorizzazione delle Sementi (CONVASE) di Bologna.

Varietà a ciclo medio con granella di mediogrande dimensione, di forma ovale, con screziature rosse. Resistenza a BCMV conferita dal gene *I*.

Selezionata a Bologna, presso l'Istituto Sperimentale per le Colture Industriali (ISCI), e diffusa commercialmente nel 2012.

Privativa CPVO per ritrovati vegetali rilasciata (n° 35917 del 29/7/2013).

**Gestione per lo sfruttamento commerciale**

Consorzio per la Valorizzazione delle Sementi, Bologna (www.convase.it)

Costitutori

Bruno Parisi (CRA-CIN) (www.entecra.it)

Concessionari (al 15 settembre 2013)

Sais Sementi spa, Cesena
(www.saissementi.it)

Four-Blumen srl, Piacenza
(www.foursementi.it)

Descrizione

Ha durata del ciclo biologico $3/4$ giorni più lunga di “Etna” (varietà di riferimento in commercio), da cui differisce per una maggiore lunghezza e screziatura rossa dei baccelli.

Pianta produttiva, vigorosa, a portamento eretto, resistente alla defogliazione di fine ciclo. Baccello a profilo dritto con elevata intensità delle screziature, lungo 19-21 cm, con 7-8 semi. Molto buona la concentrazione di maturazione dei baccelli.

L'elevata lunghezza del baccello e le sue attraenti screziature rendono “Grecale” particolarmente adatto al mercato fresco. Adatto alla coltivazione sia in serra che in piena area. La pianta necessita di terreni fertili e sani in quanto è suscettibile a fusariosi e rizottoniosi.

Genetica e biotecnologie

L. FRUSCIANTE¹, G. BILE²

Il pomodoro: protagonista in tavola e capostipite dell'industria conserviera meridionale

¹ Professore emerito di genetica agraria, Università degli studi di Napoli "Federico II"

² Tomato Breeding Team Lead – Italy, Bayer Crop Science

INTRODUZIONE

Il pomodoro (*Solanum lycopersicum* L.) è una specie ortiva appartenente al genere *Solanum*, famiglia delle Solanaceae, che comprende oltre tremila specie originarie, sia del vecchio sia del nuovo mondo. Tutte le specie selvatiche del pomodoro sono originarie del Sud America. Il suo più probabile "antenato" è *Solanum pimpinellifolium*, specie caratterizzata da bacche piccole e rosse, recentemente utilizzata per generare una nuova varietà di pomodoro in una singola generazione, attraverso un processo di "ridomesticazione" e impiegando una nuova tecnologia che prende il nome di genome editing (Zsögön et al., 2018).

La domesticazione del pomodoro, secondo le ipotesi più accreditate, fu opera degli Aztechi, i quali, sfruttando l'enorme variabilità genetica della specie presente nell'area messicana, selezionarono i genotipi più idonei al loro uso alimentare.

In seguito alla sua introduzione in Europa, avvenuta con i *conquistadores*, si diffuse prima in Spagna e poi nel resto del Mediterraneo, divenendo un alimento abituale da consumare sia cotto sia crudo. In Italia il pomodoro fu introdotto prima negli orti botanici e poi, grazie a condizioni pedoclimatiche favorevoli, la sua coltivazione si estese a tutto il Paese. Inizialmente, la pianta di pomodoro era ritenuta pericolosa per la salute a causa delle sue affinità con altre piante ricche di alcaloidi (mandragora, melanzana) e del naturale rifiuto del nuovo.

La difficoltà degli Europei a riconoscerne immediatamente la sua utilità fu dovuta all'incapacità del pomodoro, a differenza della patata, fagiolo e mais di contrastare la fame delle popolazioni continuamente in guerra o colpite da

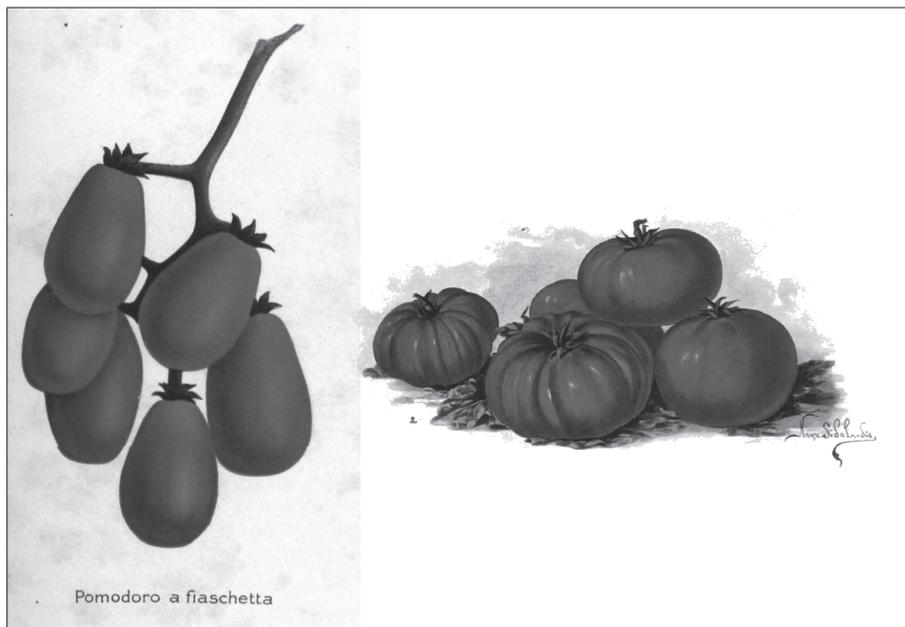


Fig. 1 *Tipologie di pomodoro (piriforme) selezionate nell'agro sarnese-nocerino e tipologia di pomodoro (globoso) selezionata nell'agro piacentino*

carestie. Soltanto quando si cominciò a utilizzarlo cotto, eliminando le temute sostanze sospette, si svelarono le sue caratteristiche intrinseche apprezzate nelle varie preparazioni culinarie.

In Italia la coltivazione del pomodoro ebbe inizio nella seconda metà del Settecento, in due aree ben distinte del Paese, una al nord, in Emilia, nell'agro piacentino e l'altra al sud, in Campania, nell'agro sarnese-nocerino. Le diverse condizioni pedoclimatiche delle due aree indussero gli agricoltori a selezionare tipologie di pomodoro diverse. La disponibilità di acqua e la coltivazione in pianura consentì agli agricoltori emiliani di selezionare una tipologia di pomodoro dalla bacca grande e globosa, mentre in Campania l'allevamento in collina senza irrigazione indusse i coltivatori a preferire tipologie con bacche piccole e piriformi e in grado di tollerare la siccità (fig. 1).

Il pomodoro oggi è una delle specie orticole più diffuse al mondo, molto importante per l'alimentazione umana. La sua produzione si attesta intorno ai 126 milioni di tonnellate, quantitativo cresciuto nell'ultimo decennio grazie all'aumento della superficie investita e, soprattutto, al miglioramento delle rese produttive.

Se analizziamo l'evoluzione della sua coltivazione nel tempo e valutiamo

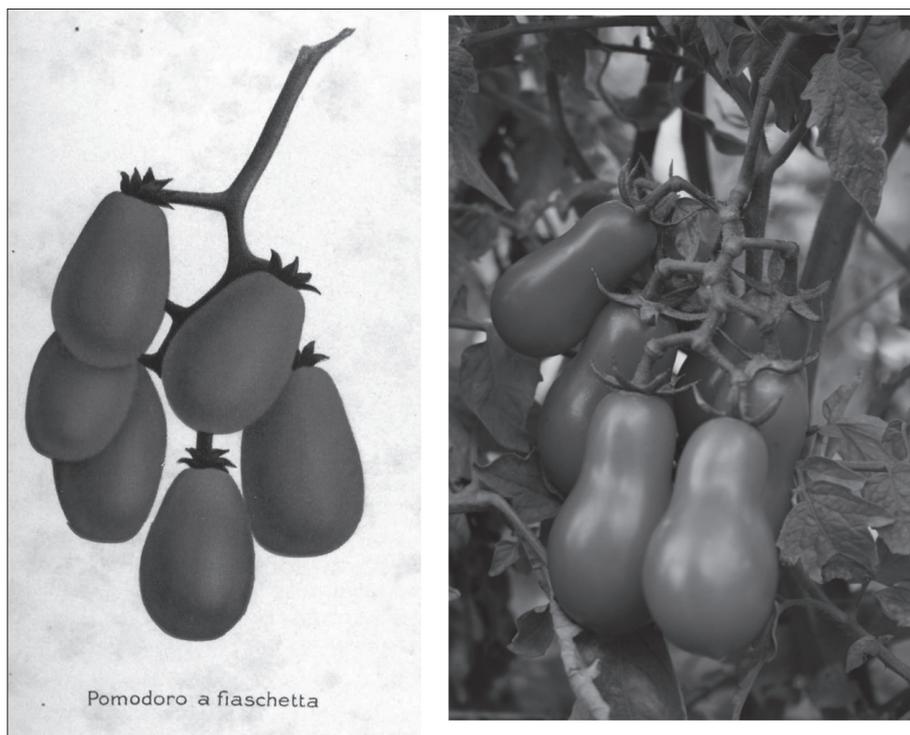


Fig. 2 *Ecotipo corbarino selezionato alla fine dell'800 e utilizzato da Cirio per l'inscatolamento tal quale del pomodoro e tuttora coltivato*

l'impatto del miglioramento genetico su questa specie, possiamo registrare almeno tre grandi rivoluzioni: la prima, a inizio Novecento, quando è stata identificata e selezionata la varietà di pomodoro San Marzano, che ha contribuito alla nascita dell'industria conserviera in Italia; la seconda, ha riguardato l'uso degli ibridi e la terza il sequenziamento del genoma.

IL SAN MARZANO E L'INDUSTRIA DELLE CONSERVE

L'introduzione della coltivazione del pomodoro nel nostro ordinamento colturale ha favorito lo sviluppo del settore agroalimentare italiano il quale, soprattutto al sud, ha determinato la crescita industriale del territorio, contribuendo allo sviluppo dell'indotto: industrie meccaniche, logistiche, degli imballaggi, ecc. Il resto si deve alla grande intuizione di Francesco Cirio, un piemontese, che trasferì al sud le sue aziende per realizzare il sogno del-

la sua vita, ovvero la conquista dei mercati europei e mondiali dei prodotti trasformati. Per attuare, però, il suo disegno si rendeva necessario produrre conserve tutto l'anno e ampliare il paniere delle offerte. Francesco Cirio sfruttò, quindi, al meglio le opportunità offerte dall'unità d'Italia e delocalizzò le sue attività laddove sarebbe stato possibile realizzare il suo progetto. Questa svolta industriale, impressa da Cirio, fece abbandonare definitivamente al Mezzogiorno ogni velleità di restare un'entità economica essenzialmente agricola e avviò la più grande rivoluzione industriale del Sud Italia. Cirio è stato pioniere nella delocalizzazione delle attività e il primo a dotarsi di una piattaforma logistica, con sede a Castellammare di Stabia, che consentiva alla società di esportare i propri prodotti in tutto il mondo. Cirio è stato anche pioniere nell'inventare una sorta di tracciabilità *ante litteram*, proponendo l'inscatolamento di pomodori interi, immediatamente riconoscibili, ottenendo un grande successo tra i consumatori di tutto il mondo (fig. 2). L'inizio del '900, con il completamento della bonifica dell'agro sarnese-nocerino e la messa a coltura di quel territorio, vide anche l'affermazione della coltivazione del pomodoro San Marzano. Purtroppo Cirio, scomparso all'inizio del 1900, non ebbe la possibilità di godere anche di questo eclatante successo. L'avvento del San Marzano stravolse i sistemi produttivi agricoli e industriali; iniziò in questo periodo la produzione dei pomodori pelati, punto di forza dell'azienda per i successivi 70 anni. Le produzioni per ettaro balzarono da una media di 70-80 q/ha ai 400-500 q/ha. Accanto all'industria di trasformazione, nacque e si sviluppò l'industria meccanica per la produzione di macchine per la lavorazione del pomodoro; nacquero così gli scatolifici. Le esportazioni di pelato raggiunsero vette mai più uguagliate: negli anni '20 si attestarono intorno alle 120.000 t/anno. Questo enorme successo ebbe anche ricadute dal punto di vista politico, in quanto, a più riprese il Governo fu costretto a contingentare la trasformazione del pomodoro per evitare che la popolazione restasse senza prodotto e, nei periodi bellici, a limitare l'uso massiccio della banda stagnata.

Il pomodoro San Marzano ha contribuito notevolmente alla diffusione della cucina italiana nel mondo e al successo del made in Italy.

IL MIGLIORAMENTO GENETICO DEL POMODORO IN ITALIA

L'affermazione del San Marzano e la crescita tumultuosa dell'industria conserviera (fig. 3) diede impulso anche all'attività sementiera.

Nacquero le prime aziende sementiere: iniziò la prima attività di selezione in Campania e più in generale al sud, dove vennero selezionati numerosi eco-

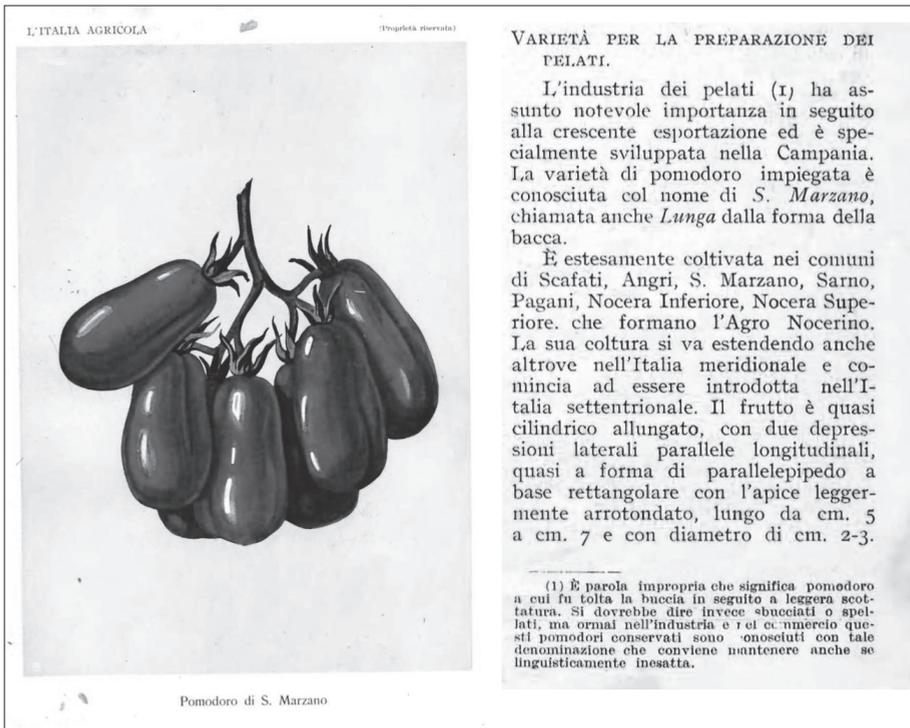


Fig. 3 «L'Italia Agricola», anno XLIX, 1912

tipi che si differenziarono soprattutto per la forma della bacca allungata (San Marzano, Lampadina, Fiaschetta), ovale (Re Umberto, Torrelama) o ciliegino (Corbarino, Vesuviano). La collaborazione sempre più stretta tra agricoltori, sementieri e conservieri, consentì di identificare i tipi più adatti alle diverse destinazioni d'uso e diede così l'avvio a un sistematico processo di selezione di ecotipi locali di pomodoro. In modo particolare per il San Marzano, accanto alla selezione massale, iniziò anche una sorta di selezione per linea pura, sfruttando popolazioni segreganti, ottenute da incroci casuali. Gli obiettivi di questi programmi di miglioramento genetico erano volti a identificare genotipi idonei a soddisfare sia le esigenze degli agricoltori (maggiori rese per ettaro), sia quelle dell'industria (migliore resa alla trasformazione). Nella seconda metà del secolo scorso ha inizio la grande attività di miglioramento genetico del pomodoro sulla base del deliberato ampliamento della variabilità genetica attraverso incroci inter- e intra-specifici. In quegli anni C. Rick (Rick et al., 1956) identificò e trasferì in nuovi genotipi, geni legati al portamento della pianta (*sp*, *du*, *j1*, *j2*) e al colore della bacca (*u*, *ogc*, *hp*), avviando di fatto il

Ditta CARMINE FARAONE MENNELLA - WHOLESALE SEED GROWERS - Torre del Greco (Italy)			
		Engl. Sh.	
Tomato			
<i>Tabul</i>	San Marzano Red Oblong (For Canning, Peeled)	2/7	236/—
<i>Tacbi</i>	Very Dwarf Earliest Red	3/5	307/—
<i>Tafdel</i>	„ Early Ficarazzi	3/5	307/—
<i>Taifu</i>	Trophy	5/8	510/—
<i>Tenis</i>	Export	5/8	510/—
<i>Texte</i>	Lukullus	5/8	510/—
<i>Tezek</i>	Chery-Shaped Red	5/3	472/—
<i>Theos</i>	Dwarf Clustered Vy. Large, Vy. Early, Smooth Mennella's Novelty	20/2	—
<i>Tilse</i>	King Humbert	1/7	145/—
<i>Titel</i>	Red Pear - Shaped Improved	4/6	405/—
<i>Tiwax</i>	Mikado	6/8	600/—
<i>Torax</i>	Marglobe extra	5/8	510/—
<i>Tosse</i>	Oxheart Improved Extra	13/4	1200/—
<i>Totau</i>	Red Electric Pear - Shaped (Novelty)	6/8	600/—

Fig. 4 *Catalogo della ditta Faraone Mennella del 1935 in cui si riportano le varietà di pomodoro commercializzate in quel periodo*

miglioramento genetico moderno del pomodoro. L'uso di questi nuovi genotipi portò anche a innovare le tecniche agronomiche con l'introduzione della raccolta meccanica. La coltivazione del pomodoro in Italia era diventata, nel tempo, sempre più importante e punto di riferimento per tutto il bacino del Mediterraneo, l'industria delle conserve era in continua crescita con il monopolio per la produzione dei pelati. Questa nuova realtà italiana indusse la Petoseed Co. Inc. (oggi gruppo Bayer), una delle più importanti ditte sementiere americane dell'epoca, a investire in Italia fissando la propria sede commerciale a Ravadese in provincia di Parma. La ricerca della Petoseed in quel periodo era finalizzata a sviluppare varietà OP (Open-Pollined) prevalentemente per le aziende di trasformazione del nord Italia. Da lì la ricerca si spostò verso la tipologia allungata per la produzione di pelati nelle province di Napoli e Salerno, ottenendo, tramite i primi programmi di reincrocio, varietà OP a frutto allungato su pianta determinata. In questo modo vennero costituite le prime varietà a sviluppo determinato, "Chico III" e "Ventura", immediatamente accettate dalle industrie di trasformazione per l'ottima qualità dei frutti, in termini soprattutto di sapore, colore e pelabilità.

Trattandosi però di varietà OP, per quanto fossero ad *habitus* determinato e adatte al pieno campo, esse non avevano la produttività, la contemporaneità

di maturazione e l'uniformità delle bacche, tutte caratteristiche necessarie a garantire un reddito accettabile per gli agricoltori.

Nel frattempo negli Stati Uniti, prevalentemente in California, si stavano affermando le prime varietà ibride che sfruttavano l'effetto eterotico e l'inserimento di resistenze a diversi patogeni: *Verticillium*, *Fusarium*, *Pseudomonas* e nematodi. Il successo delle varietà ibride di pomodoro, specie autogama, andò al di là di ogni più rosea previsione.

Questi risultati convinsero la Petoseed ad aprire un centro di ricerca anche in Italia, nei pressi di Latina, per dare vita a un vero e proprio programma di ricerca, finalizzato a soddisfare le esigenze del mercato locale e più in generale di quello del Mediterraneo. Dalla ricerca italiana della Petoseed, nacquero, infatti, i primi ibridi a tipologia allungata; tra questi l'Hypeel 244, divenuto commerciale nel 1980. Tale ibrido divenne leader del mercato perché soddisfaceva sia le esigenze dei produttori, superando in media i 1000 q.li/ha, sia quelle delle industrie di trasformazione, che finalmente avevano trovato un prodotto che rispondeva perfettamente alle loro esigenze, in termini di forma, grandezza, uniformità e qualità delle bacche, adattandosi alla pelatura e alle varie dimensioni dei barattoli da commercializzare (principalmente il ½ chilo, il chilo e i 3 chili).

La Petoseed assunse poi un gruppo di giovani ricercatori, alcuni dei quali si erano formati a Portici, per avviare un grande programma di breeding in pomodoro e alcuni dei risultati di quelle innovazioni sono riportati nelle schede allegate. I nuovi ibridi costituiti a Latina hanno rivoluzionato il panorama varietale dei pelati, anche per la loro adattabilità alla raccolta meccanica, fermo restando la qualità e le potenzialità produttive.

In questi ultimi anni altre ditte semetiери italiane hanno attivato programmi di breeding in pomodoro come La Semiorto Sementi, la ISI Sementi, la Esasem, ottenendo risultati soddisfacenti. In particolare, la Semiorto Sementi, con sede a Sarno, si è interessata soprattutto al recupero e alla valorizzazione degli ecotipi campani di pomodoro. La ISI Sementi, con sede a Fidenza, da più di quaranta anni si interessa di miglioramento genetico delle principali specie ortive italiane; molto importante è il programma di miglioramento genetico per il pomodoro da pelato, infatti alcuni degli ibridi costituiti hanno avuto grande successo in Italia.

IL SEQUENZIAMENTO DEL GENOMA

Il pomodoro è oggi una delle specie vegetali più studiate a livello genetico e genomico, non solo a causa della sua importanza economica, ma anche

perché possiede un genoma piuttosto piccolo (950 Mb). Ciò ha contribuito a farne un sistema modello per tutta la famiglia delle Solanaceae e per le altre specie in generale. Il sequenziamento del suo genoma pubblicato su «Nature» (The Tomato Genome Consortium, 2012) ha consentito di stabilire il numero dei geni (~ 35000) e le tappe della sua evoluzione, iniziata circa 60 milioni di anni fa. Il sequenziamento di questa Solanacea ha rivelato una serie di informazioni, utilizzate dai ricercatori di tutto il mondo per condurre ricerche specifiche. Il genoma di riferimento certamente non rappresenta l'ampia diversità nucleotidica all'interno specie; pertanto sono stati sviluppati diversi progetti di risequenziamento, uno dei quali si è concentrato sullo studio dei genotipi campani San Marzano e Vesuviano (citazione). L'analisi dei genomi ha evidenziato una differente plasticità fenotipica, in quanto essi esprimono il massimo del loro potenziale produttivo e qualitativo soltanto nell'area dell'agro sarnese e nel vesuviano. Questi studi hanno dimostrato anche che la complessità delle interazioni tra il genotipo e l'ambiente fornisce indicazioni sui meccanismi che regolano la qualità dei frutti. Tali meccanismi hanno un'importante implicazione nella trasformazione industriale dei pomodori (pelati, cubettati, passate, ecc.). Infatti, i risultati ottenuti mostrano come la risposta genomica del pomodoro ai fattori ambientali possa aiutare a comprendere meglio perché alcune varietà sono più resilienti e altre meno.

BIBLIOGRAFIA

- «L'Italia Agricola», anno XLIX, 1912.
- RICK C.M. & BUTLER L. (1956): *Cytogenetics of the tomato*, in *Advances in genetics*, vol. 8, pp. 267-382, Academic Press.
- TOMATO GENOME CONSORTIUM (2012): *The tomato genome sequence provides insights into fleshy fruit evolution*, «Nature», 485 (7400), p. 635.
- ZSÖGÖN A., ČERMÁK T., NAVES E. R., NOTINI M. M., EDEL K. H., WEINL S., ... & PERES L.E.P. (2018): *De novo domestication of wild tomato using genome editing*, «Nature biotechnology», 36 (12), pp. 1211-1216.

Meccanica e meccanizzazione

B. MARANGONI¹

Meccanizzazione integrale per alcune specie da frutto destinate all'industria

¹ Università di Bologna

INTRODUZIONE

L'attuale situazione del sistema agricolo italiano evidenzia una carenza programmatica e di rinnovamento strutturale, almeno per il medio periodo, e ha difficoltà a tenere il passo con l'evoluzione dei mercati internazionali, dei sistemi di produzione, sia del mondo occidentale che dei Paesi emergenti, che sono continuamente assoggettati all'innovazione tecnologica e ai cambiamenti sociali. Le motivazioni del ritardo del processo di rinnovamento strutturale dell'agricoltura italiana sono attribuibili, in parte, al forte frazionamento aziendale, alla poca propensione verso i processi innovativi, alle mutate condizioni socioeconomiche e commerciali. La rappresentatività e le linee programmatiche delle Associazioni di Produttori italiani non sempre hanno seguito la rapida evoluzione dei mercati e le mutate esigenze dei consumatori, per cui risulta carente l'adozione di una linea di politica agro-industriale nazionale, ben integrata nel contesto europeo e mondiale. Le "organizzazioni dei produttori" nella maggior parte dei Paesi occidentali sono riferite al prodotto specifico (es. cereali, mele, pere, noci, mandorle, soia, ecc.), sono gestite dai produttori stessi, che programmano e seguono l'evoluzione del settore a livello nazionale e mondiale. Gli operatori del settore agroalimentare italiano dovrebbero trovare il modo di parlarsi e capirsi lungo tutta la filiera produttiva e commerciale, e avere una sola voce comune nei confronti del mercato e delle Istituzioni che tracciano le politiche di sviluppo agricolo a livello europeo, nazionale e regionale.

LO STATO DELL'ARTE

Alcuni Paesi del mondo occidentale (es. USA, Cile, Australia, Canada, Nuova Zelanda, Spagna, Portogallo) attuano programmi di sviluppo agricolo che si avvalgono di tecnologie innovative informatizzate e sistemi automatizzati che integrano la gestione agronomica di campo, con le esigenze dell'industria di trasformazione al fine di garantire continuità di fornitura e buoni standard qualitativi. Le nuove filiere produttive programmate si basano su modelli aziendali integrati, che necessitano manodopera altamente specializzata e tengono presente la tempestività di esecuzione, il benessere degli operatori e, ovviamente, la economicità di gestione. In questo contesto e con una nuova visione, le tecniche di essiccazione e di trasformazione industriale dell'ortofrutta, si prestano all'automazione e hanno la possibilità di creare una filiera agroindustriale, che unisce la produzione in campo al processo di trasformazione. Le tecniche innovative che si stanno sviluppando nei Paesi nostri concorrenti dovrebbero indurre i nostri produttori e gli operatori del settore agroalimentare a trovare il corretto modo di parlarsi e capirsi lungo tutta la filiera produttiva e commerciale e avere, anche se con opinioni diverse da discutere al proprio interno, una sola voce comune nei confronti del mercato e delle Istituzioni che tracciano le politiche di sviluppo agricolo a livello europeo, nazionale e regionale.

LA PROPOSTA

La meccanizzazione integrale del frutteto che include la potatura, e raccolta, è già in fase applicativa per le prugne (susino europeo – *Prunus domestica*) destinate alla essiccazione o alla produzione, confetture e distillati (acquaviti). La stessa tecnologia si presta anche per l'albicocco da industria, con risultati promettenti ma che necessitano di verifiche legate alla struttura aziendale e al territorio. I nuovi frutteti di susine ricalcano le tecniche meccanizzate adottate nella vendemmia dell'uva da vino, prima, e nell'olivicultura spagnola e portoghese da circa un ventennio. Gli impianti di susino totalmente meccanizzabili sono a elevata densità (tab. 1) e le piante sono allevate in parete, non più alte di 3 metri e i filari costituiscono "sieponi" sui quali operano macchine di raccolta scavallatrici, che inglobano l'intera chioma delle piante, tramite organi scuotitori provocano il distacco dei frutti, che rimangono all'interno del "tunnel di raccolta" e vengono poi trasportati, su nastri elevatori nei contenitori idonei al trasporto allo stabilimento di lavorazione. Durante il pas-

SISTEMA	PIANTE/HA	ANNI / PIENA PRODUZIONE	PRODUZIONE T/HA	RACCOLTA HA/GIORNO	PERSONE ADDETTE
TRADIZIONALE	400	5-6	20 - 30	2	4
ALTA DENSITA'	2000	3-4	20 -30	3	2

Tab. 1 *Confronto fra frutteto di prugne tradizionale (raccolta con scuotitori e potatura manuale) e meccanizzato ad alta densità. Fonti: Chile Prune Association, California Prune Board, Cooperativa Modenese Essiccazione Frutta*

saggio sui nastri i frutti vengono separati da foglie, rametti e impurità tramite ventilatori. Frutteti totalmente meccanizzati di prugne da essiccazione sono già in essere in Spagna e Cile da circa un quinquennio con risultati altamente positivi (tab. 1). Si tratta di aziende agroindustriali di medie o grandi dimensioni che dispongono di terreno e hanno impianti con superfici di oltre 30 ettari. Nel caso di aziende di medie dimensioni, come nel caso dell'Italia, si potrebbe operare a livello territoriale, adottando forme associative o contoterzismo, visto l'elevato costo delle macchine di raccolta (circa 150.000 €) a cui si aggiungono altre attrezzature (es. potatrice). Comunque i frutteti dovrebbero essere almeno di 8-10 ha. Nei nuovi impianti vengono adottate distanze di piantagione di 3,5 m fra le fila e m 1,5 lungo il filare, si adottano portinnesti di medio vigore e la cultivar d'Agen. Le piante vengono allevate ad asse centrale in modo da formare una parete produttiva e di avere la fruttificazione sui rami, dardi e brindilli, in prossimità del tronco. Nei primi tre anni è fondamentale l'intervento di potatura manuale di allevamento degli alberi, in modo da creare una corretta integrazione fra pianta e attrezzature meccaniche. Occorre far notare che queste macchine sono delle vendemmiatrici adattate, per cui sono polivalenti e possono usufruire della guida assistita da satellitare (GPS).

Per quanto riguarda l'albicocco la meccanizzazione integrale è ancora in via sperimentale, vista anche la disformità di maturazione dei frutti e il diverso comportamento vegetativo delle vecchie varietà. Il lavoro di miglioramento genetico negli ultimi anni ha creato nuove cultivar, con una migliore contemporaneità di maturazione che, abbinate con adeguati portinnesti, stanno dando risultati molto promettenti e con prodotto valido e accettabile dall'industria di trasformazione.

Riflessioni

G. MOSCA¹, T. VAMERALI¹

La metà nascosta

¹ DAFNAE, Università degli Studi di Padova

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

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

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

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

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

Utilizzando una serie di approcci e terminologie mutuati dalla scienza dei materiali è stato accertato che le radici influenzano le proprietà fisiche del suolo, questo spiega come gli essudati radicali migliorino i processi di incollaggio interparticellare, di dispersione e di aggregazione, mentre le radici agiscono come un'armatura in fibra. Tutte queste funzioni sono ampiamente influenzate dal suo *turnover*, ossia dalla dinamica di formazione-accrescimento e morte-decomposizione. La sua incidenza è molto significativa: si ricorda, ad esempio, che in numerose conifere ogni anno dal 30 all'86% delle radici si disattiva e viene rinnovato; spostandoci poi sulle specie erbacee annuali si può constatare come in barbabietola da zucchero meno circa della metà delle radici fibrose prodotte nel ciclo risultino ancora attive al momento dell'estirpo finale. Il *turnover* influenza direttamente il potenziale di assorbimento

dell'acqua e dei nutrienti e l'intensità di interscambio di messaggi e nutrienti con la rizosfera.

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

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

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

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

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

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

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

Le alluvioni e le esondazioni provocate negli ultimi decenni dai cambia-

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

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

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

BIBLIOGRAFIA CONSULTATA

- BONA S., VAMERALI T. e MOSCA G. (1995): *Risposta del sistema radicale del mais (Zea Mays L.) alla riduzione degli input*, «Riv. Agronomia», 29, pp. 339-347.
- DE MICCO V., ARONNE G., COLLA G., FORTEZZA R., DE PASCALE S. (2009): *Agro-biology for bioregenerative Life Support Systems in long-term Space missions: General constraints and the Italian efforts*, «J. Plant Interactions», 4, pp. 241-252.

- LAL R. (2004): *Soil Carbon Sequestration Impact on Global Climate Change and Food Security*, «Science», 304 (5677), pp. 1623-7.
- MOSCA G. (2006): *Root system and agro-ecosystem management*, «I Georgofili. Quaderni», VIII, pp. 7-16.
- MOSCA G., VAMERALI T. (2000): *Obiettivo radice. Metodi di studio e risultati ottenuti in ambiente mediterraneo*, Ed. Cleup, Padova.
- MOSCA G., VAMERALI T. E BANDIERA M. (2013): *Apparati radicali nell'interfaccia suolo-pianta coltivata: interazioni con acqua, azoto e inquinanti*, in PISANTE M., *Agricoltura sostenibile*, Edagricole, Bologna, pp. 181-205.
- MUCCIARELLI M., BERTEA C.M., COZZO M., SCANNERINI S. E GALLINO M. (1998): *Vetiveria zizanioides as a tool for environmental engineering*, «ISHS Acta Horticulturae», 457, 33.
- OLIVEIRA M.R.G., VAN NOORDWIJK M., GAZE S.R., BROUWER G., BONA S., MOSCA G. AND HIRIAH K. (2000): *Auger sampling, ingrowth cores and pineboard methods*, In *Root Methods. A Handbook*, Springer-Verlag, pp. 175-210.
- SINCLAIR T.R., MOSCA G., BONA S. (1993): *Simulation analysis of variation among seasons in winter wheat yields in Northern Italy*, «J. Agronomy and Crop Sci.», 170, pp. 202-207.
- VAMERALI T., BANDIERA M., MOSCA G. (2012): *Minirhizotrons in modern root studies*, in *Measuring roots. An updated approach*, S. Mancuso (Ed.), Springer, 17, pp. 341-361.
- VAMERALI T., BONA S., SACCOMANI M., CAGNIN M., MOSCA G. (2001): *Effect of selection for low input on morpho-physiology of root system in maize*, Proc. XIX Nat. Conf. It. Soc. of Agric. Chem., pp. 377-383.
- VAMERALI T., GANIS A., BONA S., MOSCA G. (1999): *An approach to minirhizotron root image analysis*, «Plant and Soil», 217, pp. 183-193.
- VAMERALI T., GANIS A., BONA S., MOSCA G. (2003): *Fibrous root turnover and growth in sugar beet as affected by nitrogen shortage*, «Plant and Soil», 255, pp. 169-177.
- VAMERALI T., GUARISE M., GANIS A., BONA S., MOSCA G. (2003): *Analysis of root images from auger sampling with a fast procedure: a case of application to sugar beet*, «Plant and Soil», 255, pp. 387-397.
- VAMERALI T., GUARISE M., GANIS A., ZANETTI F., MOSCA G. (2008): *Studying root distribution with geostatistics*, «Plant Biosystems», 142, 2, pp. 428-433.
- VAMERALI T., SACCOMANI M., BONA S., MOSCA G., GUARISE M., GANIS A. (2003): *A comparison of root characteristics in relation to nutrient and water stress in two maize hybrids*, «Plant and Soil», 255, pp. 157-167.

Risorse naturali

M. NUTI¹

Gli invisibili in agricoltura

¹ Università di Pisa

I. LE CITTÀ DEI MICROBI, COME PARLANO TRA LORO I CITTADINI

Dopo la descrizione dei batteri, fatta da Leeuwenhoek nel XVII secolo con il suo microscopio costruito a mano usando per lenti delle sferette di vetro, i microrganismi oltre che invisibili a occhio nudo sono stati ritenuti appartenenti a un mondo di sordomuti, esseri solitari e da combattere in quanto per lo più pericolosi per gli umani. Così la visione del mondo microbico è rimasta durante tutto l'800 e a poco sono servite le scoperte di Luigi Pasteur durante la seconda metà di quel secolo sui batteri acetici, sui batteri lattici, sui lieviti. L'interesse mondiale era rivolto ai microbi come agenti di malattie dell'uomo, delle piante e degli animali. Ebbero infatti enorme risonanza la scoperta pasteuriana dell'agente microbico del colera dei polli, dell'agente eziologico della tubercolosi di Roberto Koch, dei trattamenti di sterilizzazione degli strumenti chirurgici di Joseph Lister che salvarono la vita a migliaia di puerpere, dalla vaccinazione antirabica del giovane Joseph Meister da parte di Pasteur. Era sì iniziato il secolo d'oro della microbiologia, con l'isolamento in coltura pura dei microrganismi. Ma purtroppo passarono praticamente inosservate scoperte altrettanto fondamentali quali l'isolamento e la coltivazione *ex planta* dei rizobi, simbionti radicali delle leguminose, della stessa fissazione biologica dell'azoto atmosferico e dei batteri azotofissatori, dei processi microbici del ciclo dello zolfo. Dovevano passare ancora quasi cento anni perché questa visione parziale e distorta venisse corretta, pur se anticipata dalla scoperta di Metchnikov nel 1907 della utilità dei fermenti lattici per la salute umana e dalla scoperta dell'utilità del *Bacillus thuringiensis* nel controllo di insetti fitopatogeni (i primi saggi in pieno campo risalgono al 1937). E finalmente abbiamo compreso che i microbi sono i curatori della

salute del suolo, delle piante e degli umani; oltre il 99 % dei microbi del nostro pianeta sono utili o indispensabili. Una sparuta minoranza, anche se molto agguerrita (vedasi le pandemie), è per noi dannosa. Qui di seguito ci occuperemo dei microbi utili in agricoltura.

I procarioti (archea, seguiti da eubatteri e alghe verdi-azzurre) sono stati i primi abitatori viventi del nostro pianeta (i primi resti fossili datano 3.7-4.2 miliardi di anni fa), ben prima di piante e animali. Durante il corso dell'evoluzione, i microbi hanno maturato mezzi di comunicazione molto raffinati. Questi tipi di comunicazione sono basati innanzitutto su "parole" chimiche: il sistema di *quorum-sensing* dei batteri, i fattori della micorrizzazione (Myc) nella simbiosi tra funghi micorrizici e radici delle piante, i fattori della nodulazione (Nod) nella simbiosi tra piante leguminose e rizobi del terreno sono solo i casi più noti. Questi sistemi permettono ai batteri e ai microfunghi di "parlare" tra di loro, di "parlare" con le piante e con gli animali. Alcune parole sono normali prodotti metabolici: uno dei fattori di nodulazione dei rizobi è addirittura uno dei mattoni che costituiscono la parete cellulare del batterio. Il caso della simbiosi tra piante leguminose e rizobi è emblematico: il batterio riesce a convertire il segnale di allontanamento (flavonoidi), che la pianta produce appena sente che ci sono dei batteri nelle vicinanze delle radici, in un segnale di attivazione dei geni della nodulazione, con una piccola modifica chimica a uno dei mattoni che formano la sua parete cellulare. In questo modo il batterio realizza un significativo risparmio energetico. La pianta risponde chiedendo una conferma della capacità del batterio a formare noduli azotofissatori. Lo scambio di segnali prosegue con la verifica a tappe che la pianta puntualmente pretende prima della formazione del nodulo. Se queste verifiche hanno esito positivo, la simbiosi dà luogo a un composto chimico tipico del mondo animale, una emoglobina che viene chiamata leg-emoglobina, cioè emoglobina delle leguminose per distinguerla dall'emoglobina del sangue umano. Ma la funzione è la stessa: il trasporto dell'ossigeno, in questo caso fino all'interno del nodulo in concentrazione sufficiente per permettere al metabolismo del batterio di funzionare. Tuttavia, poiché la nitrogenasi, l'enzima batterico che fissa l'azoto atmosferico, potrebbe essere danneggiata irreversibilmente dall'eccesso di ossigeno, la membrana che avvolge le cellule batteriche (chiamate batteroidi perché non si dividono più) all'interno delle cellule vegetali del nodulo consente il passaggio della concentrazione sufficiente di ossigeno ma mai in eccesso. La fissazione dell'azoto atmosferico quindi può aver luogo e durerà fino alla fioritura della leguminosa simbiote, cioè nella fase di sviluppo che maggiormente richiede questo elemento. La simbiosi rizobi-leguminose è emblematico, ma non dimentichiamo che esistono molti

altri sistemi di comunicazione nel mondo microbico: colori, suoni, vibrazioni che consentono di modulare i comportamenti sia dei singoli sia di quelli collettivi. La produzione di bio-luminescenze batteriche in verde, blu, rosso, rosa, arancione sono noti da tempo. Basti pensare alla simbiosi dei batteri luminescenti *Photobacterium* e *Vibrio* con calamari, meduse, pesci lanterna, vongole, anguille, rane pescatrici. È recente acquisizione che nei calamari l'emissione della bio-luminescenza da parte di *Vibrio* modula l'espressione genica nell'ospite, lasciando intravedere che la conversazione tra batteri e animali è intima e complessa. Tra i comportamenti collettivi più evoluti ci sono quelli della simbiosi tra i batteri e l'intestino delle termiti. Le termiti, come noi umani, non possono digerire le ligno-cellulose, compito che invece viene egregiamente svolto dagli attinobatteri che abitano simbioticamente nella cavità gastro-intestinale di questi insetti. Alcune specie di attinobatteri sono in grado di iniziare la degradazione delle lignine, e i microfunghi in perfetta sincronia e spirito collaborativo perfezionano il processo degradativo e lo completano. In questo modo vengono costruiti i termitai e viene nutrita la regina che giace sulla piattaforma basale. I basidiocarpi di alcuni funghi vengono molto apprezzati come cibo dagli umani, così come la regina che viene mangiata arrostita, mettendo rischio l'esistenza stessa dei termitai in quei climi. Un altro caso di simbiosi è quella tra funghi e radici delle piante, vecchio di 400 milioni di anni. Si stima che l'80-90% delle piante terrestri stabilisca un rapporto mutualistico con i funghi micorrizici, che tramite le strutture fungine all'interno delle cellule radicali e le ife che si propagano all'esterno, riescono a favorire e in alcuni casi permettere la nutrizione delle piante stesse. Così avviene per molti microelementi, ma anche per macroelementi nutritivi come il fosforo e il carbonio, che vengono "trasportati" da pianta a pianta attraverso la rete ifale che si forma nel suolo. Questa rete è così estesa da formare una notevole biomassa rispetto alle tredici tonnellate di microbi esistenti nei primi venticinque centimetri di profondità di un ettaro di terreno. Sebbene siano noti anche comportamenti meno eticamente edificanti come predazione e cannibalismo, in generale lo spirito collaborativo prevale in tutti i membri di questa complessa società fino a svolgere funzioni di volano per i cicli degli elementi in natura. L'intensa vita di relazione, le loro dimensioni, il metabolismo accelerato in presenza degli stimoli energetici e nutritivi appropriati fanno sì che sia nel suolo lontano dalle radici delle piante sia nell'intorno di queste, i microrganismi diventino elementi indispensabili per lo sviluppo e il mantenimento della fertilità biologica dei terreni. Le aggregazioni di cellule microbiche, non tanto le cellule singole che sono una rarità, all'interno degli aggregati delle

particelle di suolo, attraverso lo scambio di segnali e attraverso lo scambio di materiale genetico crescono fino ad incontrare limiti dovuti allo spazio fisico e al nutrimento disponibile.

Infatti i microbi possono contare non solo su forme evolute di proto-linguaggio, ma normalmente anche sullo scambio di materiale genetico, cioè su forme di vera e propria proto-sessualità per le cellule procariotiche con i sistemi di coniugazione, fino alla sessualità delle cellule eucariotiche. In entrambi i casi aumenta la capacità di adattamento all'ambiente, così come la possibilità di reagire agli stress sia biotici che abiotici. Si pensi che in una ifa dei Deuteromiceti, funghi microscopici tipici del terreno che sono privi di ricombinazione sessuale, possono coesistere anche una quindicina di nuclei diversi. In altri termini le cellule microbiche hanno investito una parte sostanziale dell'energia disponibile per scambiare materiale genetico e adattarsi alle più svariate condizioni ambientali, diventando gli esseri viventi nella biosfera più flessibili, sia in termini genetici che metabolici. Quando le condizioni di stress, soprattutto idrico, di temperatura, sostanze tossiche, nutrienti, ossigeno, diventano eccessive i microbi passano da stati fisiologici di coltivabilità, cioè attiva moltiplicazione, a quelli di non-coltivabilità (pur restando vitali). È stato possibile soltanto negli anni più recenti, utilizzando le moderne tecniche di metagenomica, svelare che la frazione maggioritaria dei microbi nel suolo è in stato fisiologico di vitalità ma non coltivabilità. Con questo nuovo approccio si può oggi descrivere la totalità del microbiota in un terreno, sia in termini di DNA che di RNA. Le analisi proteomiche e metabolomiche, anche integrate con le analisi basate su metodi colturali, possono delineare un quadro preciso della fisiologia del microbioma terricolo. Le funzioni fisiologiche diventano o rimangono attive solo quando le condizioni ambientali lo consentono, mentre rallentano o addirittura si fermano se le condizioni ambientali diventano difficili o proibitive, consentendo un enorme risparmio energetico ai microrganismi senza che vadano incontro alla loro devitalizzazione. È quindi fatta salva anche la biodiversità che caratterizza la totalità del microbiota terricolo e la capacità dei vari gruppi fisiologici di aiutarsi gli uni con gli altri al momento opportuno integrando le loro funzioni per la prosecuzione dei cicli degli elementi in natura. I microbi in questo modo non si limitano ad essere agenti di trasformazione di materie prime, sotto forma di consorzi multi-specie o multi-ceppo, ma hanno un impatto determinante sullo stato di salute del suolo e delle piante, analogamente al loro ruolo nella promozione e mantenimento dello stato di salute degli animali e dell'uomo. Nella rizosfera delle piante ci sono da uno a dieci miliardi di cellule microbiche per grammo di terreno. Nell'intestino

umano ce ne sono due logaritmi in più e i due habitat rappresentano le densità cellulari massime dei microrganismi nella biosfera. Se il microbioma intestinale entra in disbiosi per stress alimentare od altro, si evidenziano stati patologici anche gravi (quali alterazioni al sistema cognitivo, diabete di tipo 2, obesità, depressione, altri) come dimostra la letteratura scientifica degli ultimi quindici anni. Per nostra fortuna la somministrazione di preparati microbici multiceppo e multispecie riesce a contrastare gli stati patologici ed a far rientrare le disbiosi intestinali in un più bilanciato equilibrio dinamico. I consorzi microbici somministrabili sono diversi per fasce di età e per gravità della disbiosi, in genere comprendendo specie diverse o ceppi diversi di bifidobatteri, lattobacilli e bacilli.

Se il microbioma delle piante, per lo più condensato nella micorrizosfera e all'interno con gli endofiti, entra in disbiosi e la resilienza generale della pianta agli stress biotici ed abiotici diminuisce, la pianta comincia a soffrire. Va ristabilito l'equilibrio del microbioma della pianta e la sua corretta interazione col microbioma del terreno. Ai cittadini delle città microbiche bisogna consentire di parlare di nuovo tra di loro, di parlare con le piante e con gli animali. Una visione unificante del mondo microbico in natura ci aiuterà a capirne meglio il ruolo nell'agricoltura moderna.

2. IL RUOLO DEI MICRORGANISMI NELL'AGRICOLTURA MODERNA, PER IL BENESSERE DELLE PIANTE E DEGLI ANIMALI E PER LA TUTELA DELL'AMBIENTE

Consideriamo che un solo grammo di terreno agrario rappresenti una vastissima biblioteca di geni, contenuta in svariate migliaia di individui che parlano diverse lingue e un numero maggiore di dialetti. I lemmi di questi linguaggi (composti volatili, vibrazioni sonore, emissione di colori, produzione di sostanze chimiche) servono ai microbi per nutrirsi, difendersi da eventuali nemici, sopravvivere, diffondersi. Ma l'espressione genica, se correttamente interpretata, può rivelarsi estremamente utile in agricoltura. Il controllo biologico delle fitopatie, la produzione di biocidi, la produzione di biostimolanti e biofertilizzanti sono solo alcuni esempi. I linguaggi usati dai microbi, cioè sia l'emissione che la percezione di segnali anche a distanza, sono sotto stretto controllo genetico. Per alcuni batteri è stato possibile dimostrare che la produzione, il rilascio e la percezione delle molecole-segnaletto vengono utilizzati per fare il censimento della popolazione che cresce e per controllare il suo comportamento in risposta alle variazioni del numero degli individui e alle

variazioni degli stimoli ambientali. E sono diversi i casi dimostrati nei quali il linguaggio è utilizzato per determinare il comportamento degli individui all'interno e all'esterno di una popolazione. Tutto quanto abbiamo detto finora per la società dei microbi avviene nell'intervallo delle condizioni climatiche caratteristiche dei climi temperati e tropicali fino a quelli artici. Ma la memoria dei microbi è assai più antica delle attuali condizioni di vita per così dire rilassate e permissive. Essa infatti si spinge indietro nel tempo, quando le condizioni climatiche sulla terra erano estreme, i vulcani nelle profondità marine erano in continua attività e le rocce eruttate non erano pronte alla transizione per diventare suolo. Quelle condizioni vedevano i gas vulcanici dominare senza ossigeno ma ricchi in idrogeno, metano e monossido di carbonio, mentre le acque nelle quali s'infiltravano erano più ricche di ossigeno. Probabilmente l'interfaccia di fasi acquose e gassose, le elevate temperature e acidità o alcalinità estreme, hanno favorito la comparsa dei microbi più antichi, gli Archea, che utilizzano le diverse reazioni chimiche invece della luce come sorgente di energia. È una vera fortuna che queste condizioni siano ancora presenti nella enorme caldera del parco di Yellowstone, permettendo così di isolare e coltivare gli Archea, veri "fossili" viventi, di studiarne le attività e caratteristiche nel loro proprio ambiente, di svelarne la presenza se non coltivabili. Ricordiamoci che *Thermus aquaticus* isolato dal bacino del geysir Norris nella caldera di Yellowstone cresce a 80°C ed è stato utilizzato per estrarre la Taq polimerasi, l'enzima termo-resistente usato nella PCR (reazione a catena della polimerasi) per l'amplificazione del DNA, reazione chiave della biologia molecolare. E insieme a *Thermus* provengono da Yellowstone moltissimi di quei microbi che crescono ad alte temperature, fino a 80-90°C, e caratteristiche uniche: i batteri cellulosolitici *Caldicellulosiruptor obsidiansis* utilizzati nella biodegradazione termofila della cellulosa per la produzione di etanolo, i coloratissimi cianobatteri fotosintetici che tre miliardi di anni fa aiutarono a produrre l'ossigeno che caratterizza l'atmosfera attuale, i batteri termo-estremofili *Sulfolobus acidocaldarius* che cresce a spese dell'idrogeno solforato emesso dai vulcani, convertendolo in acido solforico che a sua volta degrada la roccia vulcanica iniziando il processo di pedogenesi. Finora sono stati citati i procarioti, cioè microrganismi con organizzazione metabolica, fisiologica, genetica condensata in un'unica cellula. Per quanto riguarda gli eucarioti, si ritiene che il primo organismo ancestrale sia vissuto durante l'era Mesoproterozoica, cioè 1-1.6 miliardi di anni fa. Nelle rocce sedimentarie dell'India centrale sono stati rinvenuti strati di cianobatteri fotosintetici insieme a organismi filamentosi e lobati con le caratteristiche delle moderne eucariotiche alghe rosse. Ma torniamo ai giorni nostri. Quando Sergei Wino-

gradski nel 1919 ricevette da Emilio Roux, successore di Luigi Pasteur alla direzione dell'istituto omonimo a Parigi, una lettera d'invito in cui gli chiedeva se fosse possibile trasferirsi da S. Pietroburgo a Parigi, aveva già scoperto e descritto i batteri chemio-litotrofi della nitrificazione, cioè quelli che utilizzano l'anidride carbonica come fonte di carbonio e le reazioni di ossido-riduzione come fonte di energia. Winogradski fu ben lieto di fuggire, insieme alla figlia Elena, dalla rivoluzione bolscevica in atto, che gli impediva di proseguire nei suoi studi. Dal 1921 seguirono altre scoperte: i solfobatteri, i ferrobatteri, alcuni batteri fissatori d'azoto. Era l'inizio della microbiologia del suolo che ha visto in Francia anche altri epigoni: negli anni '50 Pochon e negli anni '70 Dommergues, che ne hanno definito le metodologie, i contenuti scientifici e le applicazioni in agronomia. Il maggior merito della Scuola francese è quello di aver fatto tesoro delle scoperte del "periodo d'oro" dei pionieri della microbiologia che avevano isolato in coltura pura e descritto microbi nuovi, legando queste conoscenze alle funzioni ecologiche dei vari microrganismi considerati non tanto individualmente ma come membri di gruppi denominati "fisiologici" cioè gruppi di generi e specie tassonomicamente diverse di microbi accomunati per la loro funzione ecologica prevalente. Ecco che i comportamenti dei microrganismi, potendo essere considerati collettivi, consentono di definirne sia il ruolo nei cicli biogeochimici in natura sia la gestione in agricoltura e nelle foreste. Si giustifica pertanto la nascita della nuova disciplina, l'Ecologia microbica. Le tecniche di valutazione dei gruppi fisiologici presenti nel terreno, sviluppate negli anni '60, pur restando valide per le popolazioni coltivabili, devono essere integrate con gli approcci metagenomici più moderni per arrivare, risultato ancora non completamente raggiunto, alla individuazione delle funzioni delle popolazioni non coltivabili. In questo modo sarà più agevole indirizzare la gestione agronomica verso obiettivi di maggiore sostenibilità. In effetti lo studio del microbioma del suolo ha fatto decisivi passi in avanti indicando gli effetti delle pratiche colturali sull'insieme delle popolazioni microbiche coltivabili o meno, sulla localizzazione di batteri e microfunghi negli aggregati e più in generale delle dinamiche del biota terricolo. Vediamo ora alcuni aspetti relativi ai cicli biogeochimici in agricoltura che riguardano gli elementi biogenici carbonio, azoto, zolfo, fosforo senza dimenticare che altri elementi come ferro e manganese vanno incontro a reazioni di solubilizzazione-insolubilizzazione, ossido-riduzione ad opera dei gruppi fisiologici dei ferrobatteri e dei mangano-batteri. Per il carbonio, la posizione del microbiota terricolo per i millenni successivi alla sedentarizzazione dei cacciatori-raccoglitori, cioè successivi all'inizio delle attività agricole si è confrontata praticamente con la capacità

fotosintetica dei batteri fotosintetici e delle piante coltivate da un lato e la degradazione dei residui colturali di queste ultime dall'altro lato, insieme alla degradazione dei residui carboniosi dell'allevamento animale. Quindi il lavoro coordinato dei microbi ligninolitici, cellulolitici, emicellulolitici, pectinolitici, cheratinolitici è continuato, perturbato solo da eventi climatici o comunque naturali come gli incendi, le eruzioni vulcaniche, glaciazioni e per niente o molto poco per cause antropogeniche. È dall'inizio della utilizzazione su scala industriale delle fonti non rinnovabili e della immissione di composti del carbonio non degradabili che lo scenario è cambiato e che il lavoro dei microbi si è fatto improbo, cioè da poco più di un secolo. Ecco che con crescente insistenza si parla dei "carbon stocks" nel terreno, cioè di quei serbatoi dei quali il genere umano mai si era dovuto occupare semplicemente perché il ciclo del carbonio in natura e in agricoltura era in equilibrio, pur dinamico, tra le perdite (emissioni di anidride carbonica) e guadagni (fotosintesi vegetale e microbica e successiva incorporazione del carbonio nelle frazioni a lenta degradazione della sostanza organica). Allo stesso modo ora si parla molto anche di "bioremediation" per tentare di arginare il crescente stato di inquinamento dei terreni, utilizzando piante e microrganismi. Nel ciclo dell'azoto, i comportamenti collettivi dei microbi sono anch'essi integrati in un continuum come per il ciclo del carbonio. Considerando che il reservoir maggiore di azoto è l'atmosfera che ne contiene quasi l'80%, vi è una fase in più, operata esclusivamente da batteri: l'azoto atmosferico viene fissato da batteri aerobi e anaerobi (*Azotobacter*, *Clostridium*), cianobatteri, batteri simbiotici delle radici di leguminose (*Rizobi*) o delle non-leguminose (attinobatteri) a formare vari tipi d'azoto organico che si accumula nei microbi, nei vegetali, negli animali e che poi confluisce nei residui, nelle deiezioni e nei cadaveri. Queste forme di azoto vengono ammonificate da batteri e funghi, l'azoto ammoniacale solo in parte è assimilabile dalle piante e viene quindi nitrificato prima in azoto nitroso da batteri chemio-litotrofi (*Nitrosomonas*, *Nitrospira*) e poi ulteriormente ossidato da batteri (*Nitrobacter*) in azoto nitrico, forma facilmente assimilabile dalle piante. Là dove ricorrono le condizioni, ad esempio l'assenza di ossigeno, l'azoto nitrico può essere ridotto, cioè denitrificato in forme volatili fino ad azoto gassoso dai batteri denitrificanti. E ci sono batteri che possono fissare l'azoto atmosferico o denitrificare a seconda delle condizioni ambientali, come fanno gli stessi *Rizobi* in rizosfera quando scarseggia o viene a mancare l'ossigeno. L'estrema flessibilità metabolica collettiva, la capacità di adattamento dei vari gruppi fisiologici alle mutevoli condizioni pedo-climatiche fanno sì che a distanza di pochi millimetri l'enorme potenziale microbico si possa sempre esprimere.

Lo zolfo nel suolo è in forma sia organica che inorganica, ma la deficienza di questo elemento sta diventando un problema, grave in alcune aree come nel cerrado brasiliano, a causa delle pratiche agronomiche (incremento dei prodotti fertilizzanti con alte concentrazioni di azoto e fosforo, ma senza zolfo) le elevate esportazioni di biomasse vegetali conseguenti all'incremento delle rese per ettaro, le ridotte emissioni di zolfo in atmosfera sotto forma di anidride solforosa. Generalmente il 95% dello zolfo nel terreno è presente in forma organica negli orizzonti superficiali. Questa forma però non è prontamente assimilabile dalle piante, che invece assimilano prontamente la forma inorganica, il solfato. Quindi lo zolfo organico è una fonte potenziale importante di questo elemento ma necessita di essere mineralizzato. Si conoscono varie forme a diverso stato di ossidazione, legate alla sostanza organica più o meno umificata. Le forme più ridotte comprendono mono-, di- e polisolfuri, tioli e tiofeni, quelle ad uno stato medio di ossidazione comprendono sulfossidi e sulfonati, quella altamente ossidata rappresentata da esteri solfati. Questa varietà di forme di zolfo nel terreno richiedono un'elevata biodiversità del microbiota, che in effetti è in grado di immobilizzare, mineralizzare, ossidare e ridurre lo zolfo con un notevole spirito di collaborazione di attività enzimatiche. D'altra parte, era stato Winogradsky stesso nel 1887 a scoprire che Beggiatoa è in grado di utilizzare l'idrogeno solforato come fonte di energia e l'anidride carbonica come fonte di carbonio e Beijerinck pochi anni dopo isolava due batteri, *Thiobacillus denitrificans* e *Thiobacillus thioparus* che sono dei potenti zolfo-ossidanti. Quando la sostanza organica ha un rapporto carbonio/zolfo maggiore di 400 prevale l'immobilizzazione, seppur temporanea, del solfato prontamente assimilabile dalle piante. Quando invece i residui organici (animali e vegetali, la biomassa microbica e i suoi metaboliti, le sostanze umificate) hanno un rapporto carbonio/zolfo inferiore a 200, prevalgono i microbi che mineralizzano. Quando il rapporto è fra 200 e 400, non si hanno cambiamenti sostanziali del solfato minerale nella soluzione circolante e le attività microbiche organicanti, nel suolo, e mineralizzanti, prevalenti in rizosfera, sono in equilibrio. E ci sono anche i solfobatteri con attività multiple, sullo zolfo e sul ferro, *Acidithiobacillus ferrooxidans* e *A. thiooxidans*, capaci di ossidare il ferro e il tiosolfato. Dalla rizosfera di piante leguminose sono stati isolate varie specie di *Paracoccus* in grado di ossidare tiosolfati, tetratiati, tiocianati, solfuri e zolfo elementare. Quest'ultimo può essere ossidato anche da alcune specie rizosferiche di leguminose e crealicole di *Rhizobium*, *Mesorhizobium*, *Azospirillum* e *Pseudoxanthomonas*. Ancora una volta la biodiversità funzionale, cioè l'interazione dei comportamenti collettivi dei microbi, soccorre la nutrizione delle piante.

Nell'ottica di un'agricoltura produttiva e sostenibile, i microorganismi benefici sono stati utilizzati: fin dal 1896 (i primi inoculanti a base di Rizobi sul mercato), dal 1937 alcuni batteri per la difesa delle piante (*Bacillus thuringiensis*) e durante la seconda metà del secolo scorso i funghi micorrizici arbuscolari per incrementare le rese produttive. In uno studio di meta-analisi sono stati presi in esame gli effetti della micorrizzazione del grano dal 1975 al 2013. L'incremento, basato su 333 osservazioni, varia fino a 20% per la granella, contenuto e concentrazione di fosforo della parte soprasuolo, contenuto di azoto della parte soprasuolo, di oltre il 20% per il contenuto in azoto della granella e l'indice di raccolta, di oltre il 50% per il contenuto di fosforo nella paglia. In un altro studio sugli effetti della concia del riso con Rizobi considerati per il loro potenziale di promotori della crescita della pianta, l'inoculo ha fatto aumentare significativamente, nel Delta del Nilo, le rese del grano tra 9.2 e 22.5 % rispetto alle medie produttive degli agricoltori della stessa area, usando le stesse varietà nei campi adiacenti, cioè con un aumento di 4.8-7.1 tonnellate per ettaro in cinque diverse annate (2003-2008). Oggi, nel faticoso cammino verso la l'agricoltura smart, abbiamo a disposizione altre categorie di prodotti: gli ammendanti compostati prodotti con consorzi microbici (bio-fertilizzanti) e i biostimolanti costituiti da singole specie o consorzi microbici. In Brasile sono utilizzati biofertilizzanti contenenti fosfati minerali, zolfo elementare e *Acidithiobacillus thiooxidans* per la concimazione fosfatica di canna da zucchero, vite, melone e *Vigna unguiculata* (il comune "cow-pea"). Ripetute sperimentazioni di campo hanno dimostrato che l'uso di consorzi microbici contenenti batteri rizosferici, saprofiti, endofiti e funghi micorrizici fanno aumentare la crescita della pianta, la fruttificazione, l'efficienza dell'uso dei nutrienti, le rese per ettaro, la tolleranza a un ampio spettro di stress abiotici.

Possiamo utilizzare anche virus, batteri, attinobatteri e microfunghi come agenti di controllo biologico delle fitopatie. Esistono quasi un centinaio di ceppi microbici registrati in Unione Europea per la protezione delle piante, e almeno tre volte tanti i prodotti formulati, registrati nei vari Paesi dell'Unione. Tutti i prodotti a base di microorganismi per la protezione delle piante, collettivamente chiamati "microbials", sono a più basso impatto ambientale rispetto ai convenzionali fitofarmaci di sintesi. La lenta progressione dell'agricoltura da tradizionale a convenzionale a smart (passando dalle varie sue forme di agricoltura biologica, biodinamica, simbiotica) si basa da un lato sulla constatazione che i mezzi di produzione convenzionali non sono più sufficienti a garantire la eco-compatibilità della gestione agronomica e dall'altro che l'innovazione tecnologica permette sempre più di conciliare gli obiettivi

del mantenimento delle rese produttive con un minor impatto sulla salute umana, animale e dell'ambiente. L'evoluzione del modo di fare agricoltura ha attraversato più recentemente tappe intermedie importanti. L'agricoltura conservativa degli anni '90 si poneva come obiettivo il mantenimento della biodiversità e della sostanza organica nel terreno attraverso la diversificazione colturale, la riduzione delle lavorazioni o addirittura l'adozione delle non-lavorazioni come nel caso di pascoli e di allevamenti animali estensivi. L'agricoltura rigenerativa dell'ultimo decennio ha come obiettivo non più il mantenimento bensì l'aumento della sostanza organica e del microbiota nel terreno tenendo conto delle caratteristiche nutraceutiche degli alimenti prodotti. Vengono così recepite le crescenti evidenze scientifiche della generalizzata diminuzione della sostanza organica nei terreni più volte segnalate dalle Agenzie Internazionali, la FAO e l'Environmental European Agency, che parlano ormai chiaramente di un contenuto inferiore al 2%, ma in Italia in varie Regioni il contenuto spesso si avvicina all'1% come in Puglia nella zona del Salento dove il disseccamento rapido degli olivi ha provocato la perdita di centinaia di migliaia di piante anche secolari. Sappiamo il mantenimento della biodiversità funzionale nel terreno si può conseguire quando il contenuto in carbonio organico è superiore all'1.75% cioè quando la sostanza organica è superiore al 3.5%. Al di sotto di questa soglia, i gruppi fisiologici che sorreggono i cicli biogeochimici non funzionano più con il sistema del "mutuo soccorso" e per conseguenza si devono aumentare gli input energetici, in primis l'apporto dei fertilizzanti. Purtroppo quest'ultimo contrasta con la sostenibilità del sistema produttivo, che si appoggia proprio sulla biodiversità funzionale del terreno. Da qui il concetto che non si deve solo mantenere ma aumentare il contenuto di sostanza organica insieme alla biodiversità del biota terricolo. Nell'ultimo decennio la messa a punto di più potenti mezzi d'indagine, soprattutto molecolari, ha permesso di fare maggior chiarezza sulla consistenza e sul ruolo del microbiota terricolo. Attualmente sappiamo che la gestione agronomica influenza il profilo numerico e funzionale del microbiota del suolo: le comunità batteriche sono influenzate strutturalmente dalle lavorazioni del suolo (tillage), quelle fungine principalmente dalla gestione agronomica e meno dalle lavorazioni. Invece la rizosfera è influenzata dalla gestione e meno dalle lavorazioni.

I terreni forestati hanno dinamiche ovviamente diverse da quelli coltivati, nel senso che quando la sostanza organica s'accumula in superficie, i microfunghi tendono a dominare e in genere ad acidificare grazie alla produzione di acido citrico, che porta il ferro in profondità e di acido ossalico che salifica il calcio. Le reti miceliari prevalgono, le sostanze umiche restano negli strati

superficiali e la biodiversità si riduce per il microbioma procariotico a favore del bioma eucariotico: Oligocheti, Isopodi, Collemboli, Nematodi, seguiti dai Protozoi, Rotiferi, Nematodi, dai micofagi, ficofagi, fitofagi e infine dai predatori. La deforestazione provoca dei guasti ecologici immediati con la stimolazione dei batteri denitrificanti e la conseguente perdita dell'azoto sotto forma di composti volatili. Si depauperano i depositi di carbonio e la ricostituzione di sostanza organica sufficiente a mantenere la biodiversità funzionale può richiedere da parecchi anni a parecchi decenni.

L'estrema flessibilità metabolica collettiva e la capacità di adattamento dei microbi possono soccombere quando la gestione agronomica diventa aggressiva con forti inputs di fertilizzanti e pesticidi, lavorazioni profonde, intensificazione delle colture sia erbacee che arboree in presenza di ridotte quantità di sostanza organica a lenta degradazione. Il microbioma del terreno entra in stress e disbiosi e la biodiversità funzionale non funziona più. Può succedere allora che si debba ricorrere alla concimazione azotata delle leguminose: un vero e proprio controsenso ecologico considerando che negli ultimi 12.000 anni questo non è mai stato necessario! Se consideriamo i cicli biogeochimici, il rapporto carbonio/azoto/zolfo nei suoli indisturbati risulta più elevato rispetto a quelli gestiti con agricoltura convenzionale e dopo ripetuti cicli di coltivazione lo zolfo diventa meno mineralizzabile. All'opposto, con una gestione agronomica conservativa, come minime o senza lavorazioni e con rotazioni colturali, si ha un aumento della sostanza organica, minor perdite di nutrienti e mineralizzazione dello zolfo per azione delle solfatasi degli onnipresenti eterotrofi *Pseudomonas* e dei mixotrofi *Paracoccus*.

La moderna agricoltura nasce dal millenario esercizio di domesticazione delle piante, che ha comportato tra l'altro la dislocazione dai loro centri di origine biologica: vedasi il mais, la patata, il pomodoro, i legumi, i cereali, gli pseudo-cereali e molte altre colture. In questo storico percorso abbiamo purtroppo perso per strada quello che le piante avevano sempre avuto, cioè il rapporto stretto con il loro microbioma simbiotico. Così il miglioramento genetico vegetale, in particolare durante il secolo scorso, ha perso l'occasione di sottoporre a selezione non solo la parte soprasuolo ma anche, congiuntamente, quella rizosferica. Molte piante coltivate infatti interagiscono in maniera diversa, rispetto ai loro progenitori, con il loro benefici partner microbici. Lo stravolgimento dei tratti genetico-fisiologici che regolano le simbiosi può essere dovuto all'accumulo di mutazioni deleterie nella pianta, o favorito direttamente o indirettamente dalla selezione operata dall'uomo, od essere selettivamente neutro in condizioni di coltivazione. La riduzione dei tratti simbiotici avvenuta durante la domesticazione o dovuta ad una errata

impostazione della selezione genetica comporta il mancato o scarso riconoscimento dei partners microbici da parte delle radici, quasi non siano più in grado di intavolare la conversazione che nei millenni ha portato alla simbiosi. E oggi dobbiamo correre ai ripari, cambiando i paradigmi della selezione genetica e tenendo conto dei tratti genetici favorevoli alla formazione delle simbiosi e al loro funzionamento. In attesa che queste nuove sementi o piante siano disponibili, possiamo cominciare dal selezionare gli abbinamenti naturali più efficaci tra genotipo di pianta coltivata e genotipo di microorganismi da utilizzare come inoculo in campo.

In agricoltura, tranne la contaminazione da derivati del petrolio, la fonte principale di rischio ambientale e per la salute umana è data dalla struttura chimica, applicazione e conservazione non corretta dei pesticidi chimici. Le classi principali di pesticidi organici comprendono gli organo-fosfati, gli organo-metallici, gli organo-cloruri, i piretroidi e i carbammati. I soli depositi di materiale obsoleto sparsi per il mondo sono stimati intorno al mezzo milione di tonnellate e le persone intossicate per l'uso di questi prodotti sono stimate dall'Organizzazione Mondiale della Sanità intorno ai tre milioni all'anno. Proprio per queste ragioni dal 2005 è in atto, sia in Unione Europea che in altri Paesi dell'area occidentale, una profonda revisione dei criteri di autorizzazione alla commercializzazione con limiti massimi di residui più stringenti, una valutazione severa degli effetti sugli organismi non-target e del destino ambientale; spesso si verifica una drastica limitazione del numero e tipologia dei prodotti in commercio. Come possono aiutare i microbi nella decontaminazione del terreno e delle falde acquifere? La biodegradazione microbica degli xenobiotici inclusi i pesticidi, viene detta anche "bioremediation" ed è un metodo ormai consolidato di rimozione degli inquinanti dall'ambiente. Sono stati usati varie specie di *Sphingomonas*, *Burkholderia* e *Neisseria*, *Pseudomonas*, *Aerobacter*, *Acinetobacter* e *Moraxella*. La biodegradazione completa non può essere operata o completata da un singolo microorganismo ma piuttosto da consorzi microbici, come abbiamo visto per la degradazione delle lignine, e porta alla produzione di anidride carbonica e acqua, fornendo al contempo energia per i microbi degradatori. Però un processo di ossidazione incompleta spesso porta a composti meno tossici rispetto al pesticida di partenza. Questo è stato il caso dell'endosulfan che viene biodegradato a endosulfan-diolo, endosulfan-lattone ed endosulfan-etero. Per i terreni che non hanno o non hanno più biodiversità sufficiente del microbioma per operare le varie biodegradazioni si consiglia spesso di aggiungere starters di consorzi microbici, stante la complessità dei metaboliti intermedi e la recalcitranza della molecola iniziale. La rimozione per via biodegradativa dei

pesticidi porta effetti benefici sullo stato di fertilità del terreno. Riguardo alle capacità biodegradative, è bene ricordare che non esiste composto naturale sulla Terra, dalla roccia ai depositi di zolfo, che non possa essere trasformato nel tempo dai microorganismi. Non avviene altrettanto per i composti di sintesi, magari prodotti proprio per essere persistenti nell'ambiente.

Concludendo questo breve excursus sulla società dei microbi, possiamo affermare che la "Nazione delle Piante", egregiamente descritta da Stefano Mancuso, trova negli invisibili del terreno degli alleati indispensabili per una crescita sana e vigorosa e per la produzione di alimenti con maggior valore nutraceutico, sia nelle colture erbacee che arboree, e che al mondo microbico possiamo affidare la qualità dell'ambiente nel quale viviamo.

BIBLIOGRAFIA CONSIGLIATA PER CONSULTAZIONE

- ANDREWS M. AND ANDREWS M.E. (2017): *Specificity in Legume-Rhizobia Symbioses*, «Int. J. Mol. Sci.», 18, 705.
- BAILLY A. AND WEISSKOPF L. (2012): *The modulating effect of bacterial volatiles on plant growth*, «Plant Signaling & Behavior», 7, 1.
- BASSLER B.L. AND LOSICK R. (2006): *Bacterially Speaking*, «Cell», 125, 237.
- BRAMEYER S. ET AL. (2015): *Languages and dialects: bacterial communication beyond homoserine lactones*, «Trends in Microbiology», 23, 521.
- BUROKAS A. ET AL. (2017): *Targeting the Microbiota-Gut-Brain Axis: Prebiotics Have Anxiolytic and Antidepressant-like Effects and Reverse the Impact of Chronic Stress in Mice*, «Biol Psychiatry», 82, pp. 472-487.
- FADUMA H., NUTI M.P., KUNEMAN K., LEPIDI A.A. (1978): *Uso e selezione di rizobi per la batterizzazione di leguminose di nuova introduzione in Somalia*, «Agricoltura Subtropica e Tropicale», 72, 291.
- FAO, FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION (2020): *Global Forest Resources Assessment—Key findings*, Rome, <<https://doi.org/10.4060/ca8753en>>.
- GARBEVA P. ET AL. (2015): *Volatile-mediated interactions between phylogenetically different soil bacteria*, «Frontiers in Microbiology», 5, 289.
- HACQUARD S. ET AL. (2015): *Microbiota and Host Nutrition across Plant and Animal Kingdoms*, «Cell Host & Microbe», 17, 603.
- HARTMAN K. ET AL. (2018): *Cropping practices manipulate abundance patterns of root and soil microbiome members paving the way to smart farming*, «Microbiome», 6,14, DOI 10.1186/s40168-017-0389-9.
- LENNON Á.M. ET AL. (2006): *The Ability of Selected Oral Microorganisms to Emit Red Fluorescence*, «Caries Res.», 40, 2.
- MATSUHASHI M. (1998): *Production of sound waves by bacterial cells and the response of bacterial cells to sound*, «J. Gen. Appl. Microbiol.», 44, 49.
- MILLER M.B., BASSLER B.L. (2001): *Quorum sensing in bacteria*, «Ann. Rev. Microbiol.», 55, 165.
- OLDROYD G.E.D. (2013): *Speak, friend, and enter: signalling systems that promote beneficial symbiotic associations in plants*, «Nature Rev. Microbiol.», 11, 252.

- REGUERA G. (2011): *When microbial conversations get physical*, «Trends in Microbiol.», 19, 105.
- SABLOK G. ET AL. (2017): *Draft genome sequence of the nitrogen-fixing Rhizobium sultae type strain ISI23T focusing on the key genes for symbiosis with its host Hedysarum coronarium L.*, «Frontiers in Microbiology», 8, article 1348.
- SCHMIDT R. ET AL. (2016): *Microbial Small Talk: Volatiles in Fungal–Bacterial Interactions*, «Frontiers in Microbiology», 6, 1495.
- SCHMIDT R. ET AL. (2017): *Fungal volatile compounds induce production of the secondary metabolite Sodorifen in Serratia plymuthica PRI-2C*, «Scientific Reports», 7, 862.
- SENDER R., FUCHS S., MILO R. (2016): *Revised Estimates for the Number of Human and Bacterial Cells in the Body*, «PLoS Biol.», 19, 14 (8), e1002533. Doi:10.1371.
- TOJU H. ET AL. (2018): *Core microbiome for sustainable agroecosystems*, «Nature Plants», 4, 247.
- TRUSHIN M.V. (2004): *Light-mediated “conversation” among microorganisms*, «Microbiol. Res.», 159, 1.
- VERONA O. (1972): *Opere di Luigi Pasteur, in I Classici della Scienza*, UTET, Torino.
- WEISSKOPF L. ET AL. (2016): *Editorial: Smelly Fumes, Volatile Mediated Communication between Bacteria and Other Organisms*, «Frontiers in Microbiology», 7, 2031.
- WWW.ISQAPER-PROJECT.EU (2016-2020): *Interactive Soil Quality Assessment for Agricultural Productivity and Environmental Resilience*.
- WERNER S. ET AL. (2016): *Belowground communication: impacts of volatile organic compounds (VOCs) from soil fungi on other soil-inhabiting organisms*, «Appl Microbiol Biotechnol.», 100, 8651.

M. PAGLIAI¹, M. MASTRORILLI²

Acqua e agricoltura

¹ Accademia dei Georgofili

² CREA

PREMESSA

Non vi è dubbio che questa tragedia della pandemia da Coronavirus ha sconvolto la nostra esistenza e mai come ora si impone una riflessione su come affrontare l'immediato futuro. Auspicando davvero che ci sia una ripartenza che ci consenta di risollevarsi è certo che anche l'agricoltura dovrà ricevere la giusta attenzione per essere ripensata e poter assolvere al meglio la sua funzione di nutrire (e bene) l'umanità in modo sostenibile, cioè proteggendo ambiente e risorse naturali.

La risorsa a cui si dovrà rivolgere la massima attenzione è senza dubbio l'acqua. La corretta gestione delle risorse idriche era un aspetto estremamente critico anche prima della pandemia del Coronavirus a causa dei cambiamenti climatici in atto.

LE INNOVAZIONI PRONTE (PER LE AZIENDE AGRARIE)

La produzione vegetale dipende dal ciclo dell'acqua e l'agricoltura italiana è in gran parte irrigua. Nelle diverse zone del Paese il totale della superficie agricola utile irrigata va dal 47% nel Centro, al 55% del Nord-Est, al 61% e 65% rispettivamente per le isole e il Sud, sino ad arrivare all'87% del Nord-Ovest. Questo riflette le diverse tipologie di colture (da prevalentemente arboree e vitivinicole in Centro Italia, sino alle risaie del Nord-Ovest).

Nel nostro Paese si utilizzano ogni anno 26.6 miliardi di m³ di acqua. Il settore agricolo ne utilizza il 54% (51% irrigazione, 3% zootecnia – dati ISTAT, 2012). Tuttavia, tra i settori produttivi che ricorrono all'acqua, quello agricolo

è tra i più efficienti: ben l'85% dell'acqua prelevata viene effettivamente usata.

Le sfide lanciate dai cambiamenti climatici al settore agricolo nazionale impongono che la gestione dell'acqua sia affrontata in maniera integrata e moderna, considerando l'acqua blu (quella che si preleva dalle riserve idriche per irrigare), verde (quella che trattiene il suolo) e grigia (acque riutilizzate), tecniche di risparmio idrico e adattamento dei processi agronomici e delle colture.

Senza scordarsi che nel futuro, oltre che per l'alimentazione idrica delle colture, l'irrigazione è l'unica agrotecnica per proteggere attivamente la vegetazione dagli eventi climatici estremi (bolle di calore, abbassamenti termici improvvisi). Le nebulizzazioni climatizzanti contro gli shock termici stanno diventando una soluzione praticabile per i ritorni di freddo, dopo inverni miti che anticipano la stagione vegetativa. O l'unica soluzione per abbassare l'eccessiva richiesta evapotraspirativa dell'atmosfera in certe ore della giornata, quando il sistema radicale, anche se il suolo è saturo, non può assorbire l'acqua necessaria a termoregolare la vegetazione.

La corretta gestione dell'acqua in agricoltura dovrebbe muoversi attraverso *cinque linee guida*:

- Migliorare l'efficienza d'uso dell'acqua.
- Ripensare un'efficiente regimazione delle acque superficiali.
- Incentivare, in chiave moderna, nuove forme di sistemazioni idraulico-agrarie.
- Raccogliere acqua (Water harvesting).
- Utilizzare le acque reflue.

MIGLIORARE L'EFFICIENZA D'USO DELL'ACQUA

L'acqua è un bene prezioso e non va sprecato. Quindi il primo obiettivo per il futuro è quello di ridurre i volumi di adacquamento, massimizzando l'efficacia di ogni intervento irriguo. Occorre incentivare i sistemi di irrigazione a basso consumo d'acqua (come l'irrigazione localizzata a bassa pressione) integrati in sistemi colturali innovativi, capaci cioè di valorizzare al massimo l'offerta di acqua, che sia quella piovana, irrigua, di risalita capillare o di ruscellamento superficiale.

La Scienza lo chiede e suggerisce come fare. I cambiamenti climatici nel Mediterraneo stanno già esercitando un impatto maggiore rispetto alle altre Regioni del globo e si prevede che anche nel futuro il Mediterraneo sarà una

delle aree dove il riscaldamento globale sarà più rilevante (IPCC, 2014). Nel suo quinto rapporto, l'IPCC stima che nelle aree mediterranee nel periodo 2070-2100 le 11 colture principali necessiteranno di maggiori volumi irrigui: tra il 20 e il 40% in più rispetto al periodo 1970-2000. Senza adattare i sistemi colturali al clima che cambia e migliorare l'efficienza d'uso dell'acqua, l'impatto sulle colture potrà determinare diminuzioni di rese via via maggiori, sino a raggiungere il 25-50% a fine secolo (IPCC, 2014). Nonostante tutte le pressioni crescenti cui sono sottoposti il Mediterraneo e il settore agricolo (climatiche, di cambiamenti di uso del suolo, demografiche), c'è spazio per migliorare l'efficienza d'uso dell'acqua.

Le tecniche di irrigazione utilizzate risultano ancora non raggiungere il massimo grado di efficienza. Infatti vi è una prevalenza di tecniche a maggior dispersione: scorrimento superficiale e infiltrazione laterale, sommersione, aspersione rappresentano l'80% dei sistemi utilizzati, mentre la microirrigazione e altri sistemi sono utilizzati sono nel 20% dei casi. L'irrigazione a pioggia è ancora il sistema maggiormente diffuso (Bellini, 2014).

In agronomia la quantità (kg) che si produce con un volume unitario di acqua (m^3) è un indicatore dell'efficienza di utilizzazione dell'acqua (*WUE* [kg/m^3]: *water use efficiency*) da parte delle colture. I valori di WUE sono soggetti a variabilità dovuta alla specie (e varietà), all'ambiente e anche alle agrotecniche impiegate (Katerji e Mastrorilli, 2014). Questo conferma che esistono ampi margini per migliorare l'efficienza d'uso dell'acqua da parte delle colture e che la soluzione non consiste solo nel miglioramento di una tecnica (l'irrigazione nella fattispecie), ma nell'armonizzare tutto il processo produttivo in campo affinché ci sia un miglioramento. L'entità del miglioramento può sembrare irrisoria. Se si guadagna di un centesimo in WUE, questo centesimo va moltiplicato per gli ordini di grandezza dell'agricoltura, cioè le tonnellate e gli ettari. Così facendo gli agricoltori di un territorio che seguano itinerari sostenibili e innovativi riescono a impattare meno sulle risorse idriche.

L'agricoltura di precisione (o digitale) si dimostra un potenziale alleato tecnologico per aumentare la WUE (Turrall et al., 2010). Questo tipo di agricoltura comprende i sistemi di supporto alle decisioni (DSS) per eseguire le analisi *what-if* per la gestione di quantitativi ridotti di acqua irrigua, il monitoraggio dello stato idrico del suolo e/o della vegetazione (con telerilevamento da remoto, proximal sensing e sensori del suolo e della vegetazione) e l'irrigazione di precisione.

Tradizionalmente l'irrigazione era considerata precisa se si riusciva a distribuire la stessa quantità di acqua uniformemente su tutta la superficie, senza tener conto della variabilità spaziale del terreno e della vegetazione.

Diversamente, l'irrigazione di precisione persegue l'obiettivo di adattare gli apporti idrici agli effettivi fabbisogni colturali a piccola scala. L'irrigazione di precisione è ancora nelle sue fasi iniziali, ma l'interesse degli agricoltori è alto e verrebbe rapidamente implementata se supportata da adeguata divulgazione tecnica affidata a nuove figure professionali.

RIPENSARE UN'EFFICIENTE REGIMAZIONE DELLE ACQUE SUPERFICIALI

«Fossi e capezzagne benedicono le campagne» recita un vecchio proverbio toscano il cui significato enfatizza la necessità di sistemazioni che facilitino la corretta regimazione delle acque superficiali. Con la modernizzazione e, soprattutto, l'intensificazione dell'agricoltura si è persa questa pratica che merita assolutamente di essere riconsiderata tornando nuovamente a eseguire i solchi acquai in modo da attenuare il movimento turbolento delle acque.

Negli ultimi decenni si è verificato, infatti, un consistente aumento, fino a nove volte, dell'aggressività delle piogge nei confronti della superficie del terreno. Proprio per questo e anche a causa della gestione non sempre corretta del territorio, l'erosione rimane il principale aspetto della degradazione del suolo e supera mediamente di 30 volte il tasso di sostenibilità (erosione tollerabile) e ci sono pochissimi studi a livello italiano ma anche europeo sulla stima del danno economico causato in seguito alla perdita di questa risorsa. Occorre quindi riprogrammare assolutamente, negli ambienti declivi, i solchi acquai pressoché trasversali alla linea di massima pendenza e tanto più ravvicinati con l'aumentare della pendenza stessa.

Per le colture arboree, in particolare vigneti e oliveti, dovrebbe essere incentivata la pratica dell'inerbimento al fine proprio di attenuare l'impatto delle piogge sul suolo e quindi ridurre l'erosione. Diversi studi hanno evidenziato che l'eventuale riduzione delle produzioni è compensata da una migliore qualità dei prodotti.

Con i violenti nubifragi sempre più frequenti a causa proprio dei cambiamenti climatici, a parte i forti fenomeni erosivi in terreni declivi, capita di vedere campi pianeggianti completamente allagati anche per tempi lunghi. Ciò è dovuto alle continue monocolture con lavorazioni profonde che hanno prodotto uno strato compatto al limite inferiore dell'aratura (suola d'aratura) che in pratica ostruisce il drenaggio delle acque. Occorre, quindi, intanto ripensare a sostituire le monocolture con rotazioni adeguate, poi rimuovere il suddetto strato compatto con operazioni di ripuntatura.

INCENTIVARE, IN CHIAVE MODERNA, NUOVE FORME
DI SISTEMAZIONI IDRAULICO-AGRARIE

In un auspicabile piano di investimenti per una corretta manutenzione del Paese, è chiaro che l'agricoltura può fare la sua parte ripensando, in chiave moderna, ad opere di sistemazione del territorio come avvenne con successo nei secoli scorsi. È chiaro che in molti casi può essere improponibile riproporre i vecchi terrazzamenti con muretti a secco se non mantenere quelli ancora esistenti con notevole valore paesaggistico. Un esempio, per i vigneti e frutteti di media e alta collina, potrebbe essere la sistemazione a piani raccordati. Si tratta di piani separati da ciglioni ciascuno con pendenza opposta in modo da raccordare ad una estremità con il piano sottostante e dall'altra con il piano soprastante in modo da consentire l'agevole circolazione delle macchine.

RACCOGLIERE ACQUA (WATER HARVESTING)

Nel futuro ci troveremo sempre di più a fronteggiare lunghi periodi di siccità perché non piove oppure, quando piove, piove male! Occorre stimolare e sostenere le aziende a raccogliere e conservare l'acqua che cade con i violenti nubifragi e che, altrimenti, sarebbe interamente perduta, per essere poi utilizzata nei momenti del bisogno per l'irrigazione.

L'agricoltura italiana ha fornito validissimi esempi di "water harvesting": la raccolta di acqua di pioggia in serbatoi temporanei, come i laghetti collinari nel Centro Italia o le cisterne interrato nelle zone carsiche del sud, oppure la tesaurizzazione dell'acqua nel profilo del suolo (come preconizzato dai principi di Aridocoltura). Il water harvesting è un vero e proprio servizio ecologico fornito dalle aziende agrarie e torna di attualità in considerazione delle anomalie climatiche e soprattutto del regime delle piogge.

Le piogge hanno sempre più carattere "tropicale", ovvero sono caratterizzate da alta intensità. Se l'intensità di pioggia supera la capacità di infiltrazione del suolo, si verifica il ruscellamento superficiale. Si tratta di acqua che non si accumula nel suolo e risulta "persa" per l'alimentazione idrica delle colture. Accumulata in serbatoi artificiali, l'acqua ruscellata dei terreni in pendenza contribuisce ad alleviare la siccità se ridistribuita alle colture sotto forma di acqua irrigua.

Un altro fenomeno che ricorre negli ultimi trend climatici è la diminuzione dei giorni piovosi e l'aumento della altezza di precipitazione per evento piovoso. Verosimilmente a seguito di piogge abbondanti il terreno tende a

saturarsi. L'acqua che il suolo non trattiene drena negli strati più profondi. Anche in questo caso si tratta di acqua di pioggia "persa" per le colture, ma che si potrebbe accumulare nei serbatoi interrati e riutilizzare per soccorrere le colture durante i periodi di siccità.

Anche il suolo può essere considerato come un serbatoio. Non deve essere sottovalutata la capacità dei terreni di trattenere l'acqua e di fungere da riserva idrica per i fabbisogni delle colture. Il contenuto di acqua del suolo è un parametro dinamico. Alla scala aziendale rappresenta il bilancio tra "offerta" (precipitazioni, irrigazione, ruscellamento superficiale, risalita capillare) e "domanda" (evapo-traspirazione) dell'acqua. L'eccesso di acqua (ruscellamento e percolazione), rispetto alla capacità di trattenuta del suolo, si disperde nell'ambiente. La quantità di acqua che un terreno trattiene dipende dalla natura del terreno, in particolare da spessore, tessitura e contenuto di sostanza organica. In agronomia il volume di acqua disponibile (ovvero quella che può essere utilizzata dalle piante) si determina in funzione di tre parametri fisici: la capacità di campo, il punto di appassimento, la profondità del suolo. In realtà l'acqua nel suolo è modulata dalla struttura del terreno, ovvero dall'arrangiamento spaziale delle particelle del suolo che costituiscono grumi o aggregati, in combinazione con differenti tipi di pori (micro, meso e macro-pori, secondo una scala gerarchica di aggregazione), a formare sistemi eterogenei e complessi. Micro-aggregati e macro-aggregati si formano per opera di cementi diversi a seconda del tipo di suolo. La profondità e la porosità del suolo sono soggette a variabilità sito-specifica, anche all'interno della stessa azienda, ove è da tenere presente, purtroppo che, a causa dell'intensificazione colturale degli ultimi cinquanta anni, il suolo ha subito un processo degradativo.

La degradazione dei suoli che è sempre associata a una drastica riduzione del contenuto di sostanza organica, sceso sotto quella soglia del 2% ritenuta indispensabile per assicurare una buona fertilità del suolo. In molti suoli il contenuto di sostanza organica è ormai sotto l'1%.

È ampiamente dimostrato che le qualità strutturali dei suoli dipendono fortemente dalle interazioni con la sostanza organica. La sostanza organica, oltre a garantire la stabilità degli aggregati contro l'azione disgregante dell'acqua, assicura una forte attività biologica che contribuisce all'aumento di quella microporosità, formata dai pori compresi fra 0,5 e 50 micron di diametro equivalente che costituiscono proprio la riserva di acqua utile per la crescita delle radici e dei microrganismi. Quando il contenuto di sostanza organica scende sotto il 2% o, peggio, sotto l'1% si riduce drasticamente la presenza di questi pori e, di conseguenza, la capacità del suolo di trattenere acqua.

È possibile aumentare la microporosità (costituita dai pori di riserva di 0,5-50 micron) ammendando i suoli con la somministrazione di materiali organici. La sostanza organica del suolo, oltre ad avere capacità di assorbimento di acqua, migliora il sistema dei pori e le condizioni strutturali del suolo.

La ritenzione idrica è una delle proprietà più importanti del suolo ed è un indicatore primario delle sue qualità ed è direttamente correlata con la crisi idrica in relazione anche ai periodi di siccità e ai cambiamenti climatici. Si stima infatti che la degradazione del suolo avvenuta negli ultimi 40 anni abbia provocato una diminuzione di circa il 30% della capacità di ritenzione idrica dei suoli italiani, con un relativo accorciamento dei tempi di ritorno degli eventi meteorici in grado di provocare eventi calamitosi. Il suolo italiano, quindi, ha perduto una parte consistente della sua capacità di invaso idrico, in grado di laminare le piene in modo anche più efficiente e diffuso di quanto sia possibile con le casse di espansione realizzate lungo le aste fluviali.

Alla variabilità spaziale, insita nella natura di un suolo, si aggiunge quella dovuta all'azione antropica, per cui con un ossimoro la capacità del suolo di invasare acqua si potrebbe definire come una "costante modificabile". Le modifiche sono determinate dalle pratiche agronomiche. L'acqua nel suolo è invece un parametro dinamico: varia nel tempo e in 3D. L'andamento meteorologico e l'evapotraspirazione delle colture ritmano le variazioni temporali, la gestione agronomica determina le variazioni spaziali del contenuto idrico nel suolo e la quantità.

L'agricoltura ha da sempre avuto il compito di gestire in modo razionale l'acqua, al fine di conservarne e perpetuarne la fruibilità. Un sistema agro-ecologico è funzionale al ciclo idrologico e non lo interrompe. Seguendo lo schema suggerito della FAO, le superfici coltivate contribuiscono alla formazione dell'acqua "blu", ovvero delle riserve idriche (superficiali o sotterranee) dove confluiscono ruscellamento e drenaggio. L'evapotraspirazione ripristina il ciclo dell'acqua formando le riserve idriche in atmosfera. L'acqua "blu" prodotta dagli agro-ecosistemi viene riutilizzata in agricoltura sotto forma di irrigazione ed è anche messa a disposizione degli altri comparti produttivi, nonché per gli usi civili e il mantenimento degli ecosistemi.

Un tentativo di quantificare il valore dei servizi idrologici forniti dagli agro-ecosistemi è stato riportato in un recente studio dove si dimostra che in un bacino forestato diverse tipologie di copertura determinano differenze di produzione dell'acqua blu calcolata come differenza tra le precipitazioni e l'evapotraspirazione, al netto del volume di acqua necessario al deflusso minimo vitale (tab. 1).

LAND USE	WS (M ³ YEAR ⁻¹)
Forest high canopy	607200
Forest low canopy	883200
50% forest 50% crop	710700

Tab. 1 *Acqua “blu” prodotta (WS) nel bacino strumentato del Bonis (Sila Greca, CNR-ISAFO) in funzione del tipo di utilizzazione del suolo (da Mastorilli et al., 2018a)*

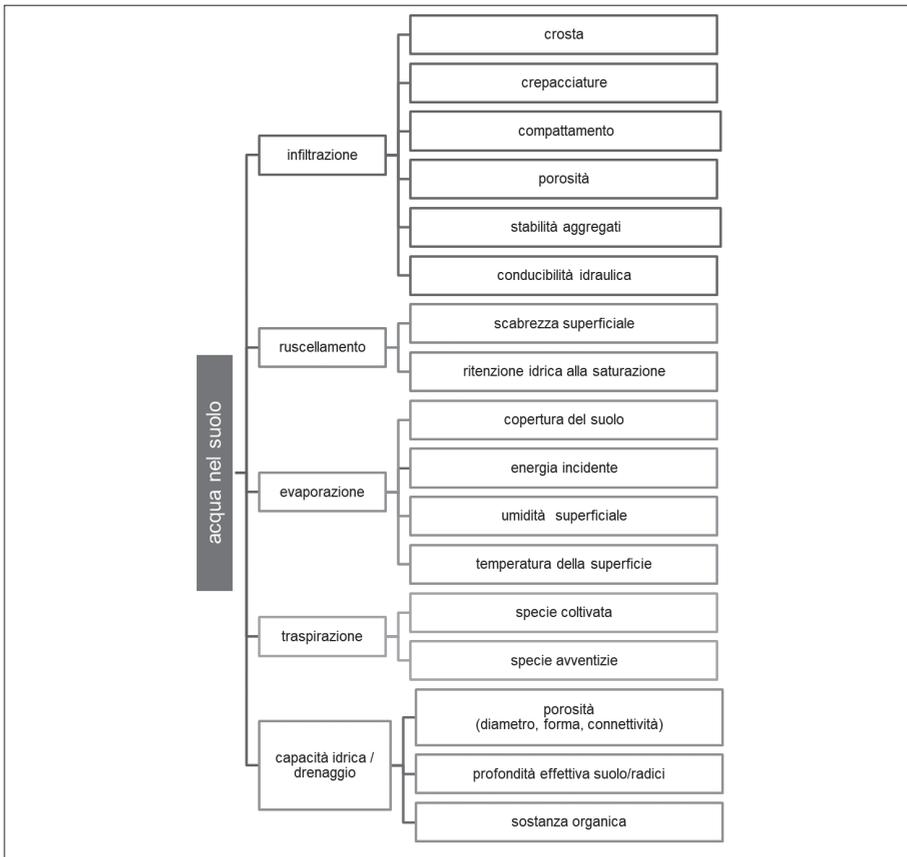


Fig. 1 *Processi idrologici che determinano le variazioni di acqua nel suolo*

I principi dell'aridocoltura, reinterpretati alla luce di conoscenze scientifiche aggiornate (Perniola et al., 2015), possono rappresentare la guida operativa per aumentare l'acqua “verde”, ovvero la pioggia immagazzinata nel profilo del suolo o trattenuta nei tessuti vegetali. La disponibilità di acqua nel terreno può essere schematizzata come la risultante di processi idrologici, ca-

ratteristiche del suolo e della copertura, clima, ognuno dei quali è governato da grandezze fisiche quantificabili (fig. 1).

A titolo di esempio, il processo di infiltrazione (fig. 1) è limitato dalla presenza di crosta. Inoltre le crepacciature, soprattutto se profonde, sono vie preferenziali di deflusso dell'acqua che "by-passano" lo strato di terreno esplorato dall'apparato radicale. Il compattamento dovuto alle lavorazioni sulla superficie coltivata può creare strati impermeabili all'acqua. L'infiltrazione, infine, è favorita da porosità continua e orientata verticalmente. Forma e dimensione dei pori sono determinate dagli aggregati di suolo, ossia dalla presenza di sostanza organica che cementa più o meno stabilmente le particelle di suolo. La gestione agronomica, agendo sulle caratteristiche fisiche del suolo, determina l'infiltrazione e, quindi, il volume di acqua verde immagazzinato. I principi di agricoltura conservativa perseguono gran parte di questi obiettivi.

Negli ambienti mediterranei, le pratiche agronomiche improntate alla sostenibilità hanno come obiettivo della nutrizione idrica delle colture la valorizzazione dell'acqua verde, integrandola con l'acqua blu (irrigazione).

L'integrazione delle risorse idriche si completa col ricorso alle "acque grigie", ovvero quelle depurate e salmastre. Gli studi condotti a scala di campo sull'irrigazione con le acque di qualità inferiore, dimostrano che si raggiunge la sostenibilità se utilizzate con un rigoroso controllo agronomico.

UTILIZZO DI ACQUE REFLUE

Il tema del trattamento delle acque reflue per il loro impiego in agricoltura, come risorsa irrigua supplementare, riguarda diverse discipline scientifiche. L'approccio multidisciplinare ha permesso di raggiungere risultati interessanti per quanto riguarda:

- il riuso irriguo di acque con carico microbiologico diverso in funzione del tipo di coltura (a destinazione alimentare e non) e della gestione agronomica;
- l'ottimizzazione tecnico-economica della gestione di sistemi di depurazione di acque reflue attraverso la semplificazione dei processi di depurazione;
- la verifica dell'efficacia di test rapidi e a basso costo per la valutazione in campo dell'eco-tossicità di suoli e acque;
- la realizzazione del sistema di telecontrollo via Internet dei parametri qualitativi delle acque prodotte per l'uso irriguo;

- lo sviluppo di processi partecipativi e metodologie di informazione e coinvolgimento dei portatori di interesse (agricoltori, gestori di impianti, istituzioni e consumatori) per una gestione condivisa della risorsa.

In agronomia le acque reflue urbane depurate rappresentano una risorsa di importanza strategica, non solo dal punto vista delle disponibilità idriche, ma anche di quelle nutrizionali (Mastrorilli et al., 2018b; Campi et al., 2014). Un aspetto di grande importanza è il “valore nutrizionale” delle acque reflue ossia la disponibilità di elementi nutritivi, che rappresenta un ulteriore vantaggio di queste acque. I macro nutrienti contribuiscono a soddisfare i fabbisogni nutrizionali delle colture, riducendo gli apporti di fertilizzanti. La presenza di meso e micronutrienti contribuisce a migliorare la qualità delle produzioni.

I risultati delle ricerche sostengono l'ipotesi di trattamenti semplificati di depurazione che mirino a produrre acque per il riuso irriguo arricchite in elementi nutritivi. In questo modo si riducono i costi di trattamento e si ottiene una risorsa di grande valore agronomico, con evidenti benefici economici ed ambientali. Le caratteristiche delle acque reflue però sono estremamente variabili e devono essere monitorate. Oltre alle sostanze che rappresentano un potenziale beneficio per l'agricoltura, le future ricerche devono essere indirizzate all'analisi delle conseguenze di tipo igienico e ambientale, nonché dei contaminanti emergenti (Lopez et al., 2015).

CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

È auspicabile che le linee guida proposte per una corretta gestione dell'acqua in agricoltura siano recepite nelle azioni politiche nazionali e regionali.

A livello nazionale si pone con forza la necessità immediata di un Piano Quadro Nazionale finalizzato, sia a recuperare e accumulare l'acqua piovana attraverso la creazione di serbatoi artificiali, come detto, e vasche di espansione e laminazione delle piene, sia a incrementare la capacità di invaso con la realizzazione di piccoli e medi bacini di raccolta, attraverso il censimento e la ricognizione dei numerosi piccoli e medi invasi attualmente esistenti. Questa strategia di raccolta dell'acqua sul territorio si affianca all'azione dei Consorzi di Bonifica che gestiscono le riserve idriche di dimensioni maggiori. Questa integrazione si rende indispensabile per fronteggiare le richieste degli agricoltori che devono fare i conti con periodo di carenza idrica nel suolo sempre più lunghi.

Il recupero dell'acqua è un fatto connesso alla gestione dell'azienda agraria ed è diverso da zona a zona del nostro Paese. I Piani di Sviluppo Regionali

(PSR) sono lo strumento adatto a promuovere l'accumulo di acqua in serbatoi "secondari" presso le aziende agricole e per attuare tutti gli interventi adeguati per la salvaguardia di risorse fondamentali quali l'acqua e il suolo.

I cambiamenti climatici in atto e gli impatti devastanti che portano ad azzerare o compromettere le produzioni con danni pesantissimi, impongono ulteriori adeguamenti tecnici. La distribuzione dell'acqua alle colture, così come il drenaggio dei suoli, richiede un continuo ammodernamento da parte delle aziende agricole. Parimenti le reti e gli impianti di irrigazione collettiva necessitano prima di tutto di manutenzione straordinaria e poi di ammodernamenti tesi alla efficienza e al controllo dei consumi con l'adozione di dispositivi di misura dell'acqua effettivamente utilizzata.

RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

- BELLINI G. (a cura di) (2014): *6° Censimento Generale dell'Agricoltura – Utilizzo della risorsa idrica ai fini irrigui in agricoltura* - Istituto nazionale di statistica.
- CAMPI P., SOLIMANDO M., LONIGRO A., NAVARRO A., PALUMBO A.D., MASTRORILLI M. (2014): *Productivity of energy sorghum irrigated with reclaimed wastewaters*, «It. J. Agronomy», 9, pp. 115-119.
- IPCC (autori vari) (2014): *Fifth assessment report*.
- ISTAT (2012): <https://www.istat.it/it/files/2012/05/Rapporto-annuale-2012.pdf>.
- KATERJI N., MASTRORILLI M. (2014): *Water Use Efficiency of Cultivated Crops eLS 2014*, John Wiley & Sons Ltd: Chichester <http://www.els.net/> [DOI: 10.1002/9780470015902.a0025268].
- LOPEZ A., STELLACCI A.M., CALIANDRO A., POLLICE A., LONIGRO A. (2015): *Qualità delle acque per uso irriguo. Impiego di acque salmastre e reflui urbani depurati*, in *L'acqua in agricoltura, gestione sostenibile della pratica irrigua*, a cura di M. Mastroiilli. Edagricole di New Business Media srl, ISBN 978-88-506-5444-4, cap. 15, pp. 315-365.
- MASTRORILLI M., RANA G., VERDIANI G., TEDESCHI G., FUMAI A., RUSSO G. (2018a): *Economic Evaluation of Hydrological Ecosystem Services in Mediterranean River Basins Applied to a Case Study in Southern Italy*, «Water», 10, 241; doi:10.3390/w10030241.
- MASTRORILLI M., STELLACCI A.M., LONIGRO A. (2018b): *Recupero e riuso delle acque reflue nel progetto PON In.Te.R.R.A.*, in *Crisi idrica, recupero e riuso delle acque reflue tra opportunità e criticità per una gestione sostenibile dell'acqua*, Atti del convegno, Bari, 26 ottobre 2017, a cura di A.R. Somma, L. Sisto, N. Lamaddalena, W. Occhialini, CIHEAM Valenzano, ISBN 978-2-85352-585-5, pp. 136-148.
- PERNIOLA M., CAMPI P., LOVELLI S. (2015): *L'aridocoltura e l'agricoltura che cambia*, in *L'acqua in agricoltura, gestione sostenibile della pratica irrigua*, a cura di M. Mastroiilli, Edagricole di New Business Media srl, ISBN 978-88-506-5444-4, Cap. 2, pp. 15-41.
- TURRAL H., SVENDSEN M., FAURES J.M. (2010): *Investing in irrigation: Reviewing the past and looking to the future*, «Agric. Water Manag.», 97, pp. 551-560.

F. P. VACCARI¹, A. POZZI²

BIOCHAR in agricoltura

¹ IBE CNR

² IChar Associazione Italiana Biochar

La carbonificazione di biomasse e l'interramento nei suoli agricoli del biochar che da esse deriva rappresenta una nuova tecnica per gestire i residui vegetali alternativa alla combustione (che produce immediatamente grosse quantità di CO₂), all'abbandono in superficie o all'interramento dei residui secchi e anche al compostaggio.

Questo metodo per aumentare la stabilità del carbonio stoccato nel suolo prende spunto da antichi terreni dell'America del Sud, in particolare dai suoli Terra Preta do Indios che hanno colore nero, pH alcalino, ospitano microrganismi endemici e sono particolarmente fertili.

CHE COSA È IL BIOCHAR

Di aspetto uguale al carbone, il biochar è prodotto della decomposizione termochimica (pirolisi) di materia vegetale costituita principalmente da cellulosa, emicellulosa e lignina in aggiunta a una minore quantità di estrattivi organici, minerali inorganici e acqua.

I moderni processi industriali di produzione del biochar permettono, a differenza dei metodi tradizionali, la produzione di un materiale in quantità e qualità superiori nel pieno rispetto delle norme ambientali, consentendo inoltre lo sfruttamento economico del gas per la produzione di energia elettrica e calore.

Differenti le biomasse vegetali utilizzabili, che sono prodotte da agricoltura dedicata, ricavate dai residui delle colture, od ottenute dagli scarti dell'industria agroalimentare, con caratteristiche del biochar influenzate dal tipo di processo e dal materiale usato per produrlo.



Appezamento di vite su cui è distribuito biochar

CHE EFFETTI HA

Conferisce al terreno un notevole miglioramento delle qualità agronomiche, aumento delle capacità di scambio cationico che permette di trattenere notevoli quantità di cationi scambiabili, grazie anche alla sua elevata porosità e al conseguente altissimo rapporto superficie/volume.

Il pH del terreno subisce un incremento, a causa delle sostanze basiche contenute nel biochar; in suoli acidi è quindi migliorata l'abitabilità da parte delle piante, che trovano maggior disponibilità di fosforo e minore di alluminio, fitotossico.

Il biochar conferisce inoltre struttura al terreno, e anche in terreni argillosi, che danno croste superficiali o che presentano problemi di eccessiva sodicità, migliora le proprietà meccaniche diminuendone la forza di trazione,

mentre solo aggiunte di quantità consistenti di biochar aumentano significativamente la capacità di campo e la capacità di ritenzione idrica. Una maggior fertilità si traduce inoltre in una maggior efficienza fotosintetica, in un maggior sviluppo della biomassa e quindi in un maggior sequestro di carbonio e, se la biomassa è infine utilizzata per produrre biochar, il ciclo si autoalimenta.

In sostanza l'impiego del biochar comporta un apporto netto di nutrienti, una minore lisciviazione e il miglioramento della fertilità biologica, consentendo un minor impiego di concimi chimici, con minori spese per gli agricoltori e minor impatto sull'ambiente, minor consumo di risorse ed energia, e mantenimento della funzionalità dei microrganismi nel terreno.

IL BIOCHAR IN ITALIA ED INDICAZIONI OPERATIVE

Sulla base delle esperienze scientifiche, l'Associazione Italiana Biochar (ICHAR) ha presentato nel 2012 al Ministero per le Politiche Agricole, Alimentari e Forestali MIPAAF istanza per l'inserimento del biochar nell'allegato 2 del D.Lgs. 75/2010 quale ammendante nel suolo, fornendo le caratteristiche qualitative da rispettare (Allegato 2 - D.Lgs. 75/2010). L'istanza è stata accettata nel 2015 ed oggi, il biochar è ammesso nella lista degli ammendanti e fertilizzanti Italiani (Gazzetta Ufficiale, Serie Generale n° 186 del 12-8-2015).

Grazie all'impegno di ICHAR e della ricerca italiana il biochar può ora essere utilizzato per migliorare la qualità dei terreni, aumentare le produzioni e ridurre i fabbisogni idrici. Si auspica che presto la norma avrà riflessi che andranno ben oltre questi evidenti benefici tecnici ed economici; questo perché il biochar potrà entrare di diritto nei mercati volontari di riduzione delle emissioni di gas serra, stimolando un ciclo virtuoso in cui si potranno generare compensazioni delle emissioni per chi acquisterà crediti e redditi addizionali o risparmi per chi distribuirà il biochar nel terreno.

Il fatto che esista un quadro normativo in Italia di riferimento sul biochar, pone gli utilizzatori in una ottica di sicurezza in quanto il prodotto che si trova sul mercato risponde in termini qualitativi alle esigenze agronomiche.

Scegliere se ammendare il suolo con il biochar è una scelta operativa complessa, in quanto il biochar è un ammendante e non un fertilizzante, quindi bisogna conoscere bene il contesto ambientale dove desideriamo impiegarlo.

ALCUNE INDICAZIONI OPERATIVE:

- la dose consigliata per ettaro è di minimo 10 t ha⁻¹;
- la funzionalità del biochar nel suolo è pluriennale, fino a 10 anni; quindi si suggerisce una sola applicazione e non una applicazione annuale;
- gli effetti dell'ammendamento del biochar sono più evidenti in suoli con scarsa capacità di scambio cationico (e quindi tipicamente sabbiosi), e dove la produzione agricola soffre di uno o più fattori limitanti. Ove vi sia un alto grado di fertilità del suolo alta e di alta intensificazione agronomica, il biochar può infatti avere effetti limitati.
- il biochar va distribuito bagnato, per evitare le emissioni in atmosfera di polveri sottili, e interrato nei primi 15-20 cm di suolo, con una semplice erpicatura.
- visto l'alto costo di mercato, ad oggi, risulta remunerativo nelle produzioni ad alto reddito (per esempio: più adatto in viticoltura che in cerealicoltura).

BIBLIOGRAFIA

- BOSSIO D.A., COOK-PATTON S.C., ELLIS P.W. ET AL. (2020): *The role of soil carbon in natural climate solutions*, «Nat Sustain», <<https://doi.org/10.1038/s41893-020-0491-z>>.
- CHAN K.Y., VAN ZWIETEN L., MESZAROS I., DOWNIE A., JOSEPH S. (2007): *Agronomic values of greenwaste biochar as a soil amendment*, «Australian Journal of Soil Research», 45, pp. 629-634.
- GLASER B., HAUMAIER L., GUGGENBERGER G., ZECH W. (2001): *The 'Terra Preta' phenomenon: a model for sustainable agriculture in the humid tropics*, «Naturwissenschaften», 88, pp. 37-41.
- ISWARAN V., JAUHRI K.S. AND SEN A. (1980): *Effect of charcoal, coal and peat on the yield of moog, soybean and pea*, «Soil Biology and Biochemistry», 12, pp. 191-192.
- LEHMANN J. (2007): *Bio-energy in the black*, «Frontiers in Ecology & the Environment», 5, pp. 381-387.
- WARNOCK D.D., LEHMANN L., KUYPER T.W. AND RILLIG M.C. (2007): *Mycorrhiza responses to biochar in soil: concepts and mechanisms*, «Plant and Soil», vol. 300, pp. 9-20.

A. BEVIVINO¹, A. SONNINO², L. ROSSI²

Il microbioma dell'agro-ecosistema al servizio della produzione primaria

¹ Laboratorio Sostenibilità, Qualità e Sicurezza delle Produzioni Agroalimentari, Divisione Biotecnologie e Agroindustria, Dipartimento Sostenibilità dei Sistemi Produttivi e Territoriali, ENEA

² Federazione Italiana dei Dottori in Scienze Agrarie e Forestali (FIDAF)

INTRODUZIONE

I microrganismi svolgono un ruolo fondamentale nel mantenimento della vita sulla Terra. Le risposte alle sfide del nostro secolo risiedono in una visione olistica globale che riconosce la stretta connessione tra salute umana e salute degli ecosistemi terrestri. L'idea di coltivare piante per la salute umana e il benessere generale, piuttosto che per il consumo come solo cibo, sta cambiando la percezione delle persone nei confronti della biotecnologia vegetale e della biologia sintetica. Il concetto di *One Health* mette insieme la Salute del Pianeta con la Salute dell'Uomo (Atlas, 2013; Wolf, 2015). Riconoscendo che le persone, gli animali e l'ambiente sono indissolubilmente legati, l'approccio *One Health* propone una prospettiva univoca che, trasversalmente, mediante la promozione di un programma di ricerca multidisciplinare, si prefigge di affrontare in modo efficace i problemi legati alle patologie emergenti, per migliorare la salute e il benessere degli organismi viventi (www.onehealthcommission.org) (Destoumieux-Garzón et al., 2018). Nella visione *One Health* le piante rivestono un ruolo fondamentale. Le piante sono gli organismi viventi che più di ogni altro condizionano la vita del nostro Pianeta (Fletcher et al., 2009). La loro salute è strettamente connessa alla salute umana e al benessere animale, è parte essenziale di quella dell'intera biosfera, dai microrganismi all'uomo, senza priorità, ed è garanzia di sicurezza alimentare per la specie umana. Ma un ruolo fondamentale è svolto dai microrganismi che non conoscono confini. Ecosistemi microbici complessi, denominati collettivamente microbioti, svolgono una posizione centrale nel concetto di *One Health*, contribuendo a una nuova prospettiva integrata della salute degli organismi viventi (Trinh et al., 2018). I microbioti si trovano negli esseri umani, nelle

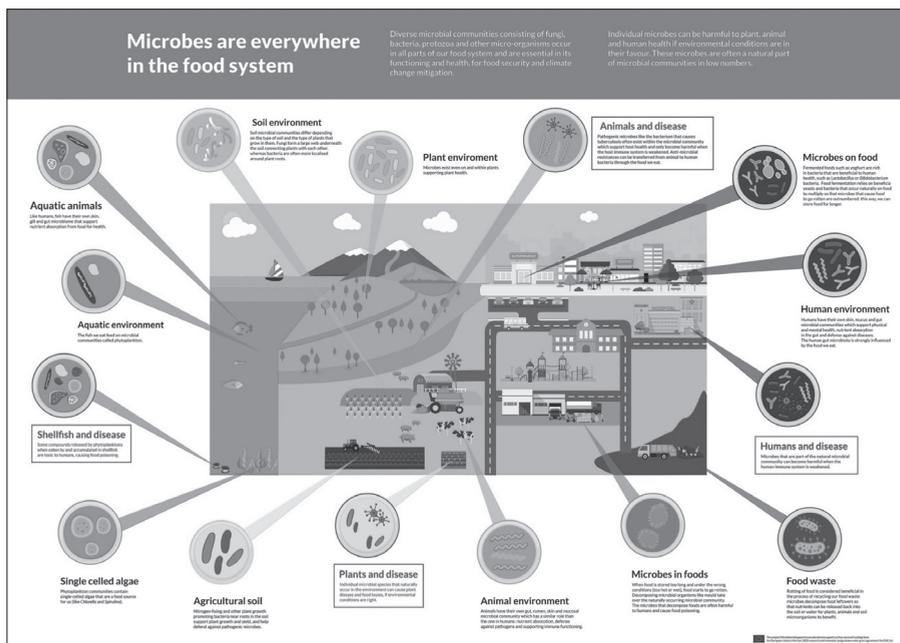


Fig. 1 *La diffusione dei microorganismi nel sistema alimentare (tratto da: Microbiome Support Action <https://www.microbiomesupport.eu/wp-content/uploads/2020/06/A4-infographic.jpg>). Le comunità di microbi sono essenziali per la salute delle piante, degli animali, dell'uomo e dell'ambiente, con un conseguente impatto in termini di produttività delle colture e del bestiame, qualità e sicurezza alimentare, nonché per i processi di decomposizione e riciclaggio dei rifiuti alimentari. La composizione delle comunità microbiche differisce nel sistema alimentare, a seconda delle condizioni ambientali*

piante e negli animali, nonché negli ambienti terrestri e marini, fornendo benefici per il pianeta nel suo insieme e tutto ciò che vive su di esso.

L'incremento della domanda di cibo dovuta all'incremento della popolazione mondiale ha per anni causato un'intensificata pressione sulle risorse naturali. L'introduzione di varietà di colture ad alto rendimento geneticamente migliorate e l'impiego di nuove tecnologie in campo agricolo, come i fertilizzanti chimici, gli erbicidi e i fitofarmaci sintetici, hanno determinato un considerevole aumento della produzione e della produttività, ma con un costo ambientale elevato, oggi non più sostenibile. L'espansione della produzione alimentare ha comportato un impatto significativo sull'ambiente, causando l'erosione della diversità genetica delle piante e diversità microbica del suolo, fonte di microbiomi benefici per le piante (Pérez-Jaramillo et al., 2016), con conseguenti danni sull'equilibrio del suolo, dell'acqua e su tutti

i servizi offerti dagli ecosistemi. Per tutti questi motivi è quanto mai urgente e necessario promuovere un cambiamento nel modo in cui produciamo e consumiamo cibo. In questi ultimi anni, abbiamo assistito a una maggiore consapevolezza e preoccupazione su questi temi e vi è un consenso generale sulla necessità di definire e adottare alternative agricole più sostenibili e rispettose dell'ambiente. La recente pandemia di COVID-19 ha portato a un ripensamento radicale della modalità di produzione di cibo, aumentando i dubbi sui possibili impatti che un'agricoltura non sostenibile sta avendo sull'equilibrio dell'intero ecosistema, dall'uomo alle piante, animali e natura (Bahadur Poudel et al., 2020). Produrre di più e nel contempo migliorare le pratiche agricole per diminuire l'impatto ambientale, usando in maniera efficiente le scarse risorse naturali, sono queste le principali sfide che il settore agricolo mondiale si troverà a dover affrontare nei prossimi decenni. Una possibile alternativa è offerta dai microbiomi che si trovano ovunque nell'intero sistema alimentare (fig. 1). Circolano nell'oceano aperto dove fungono da base della catena alimentare marina, dimorano nell'intestino degli animali o colonizzano le radici, e foglie e frutti di tutte le piante coltivate, aumentano l'assorbimento di nutrienti delle piante coltivate e sono, fin dall'antichità, attori chiave nella produzione alimentare, essenziali per la salute delle piante, degli animali, dell'uomo e dell'ambiente. Sfruttare il "microbioma al lavoro" e capitalizzare i tratti microbici benefici per l'ospite o per l'ambiente o per entrambi, rappresenta una strada promettente per lo sviluppo di un'agricoltura di nuova generazione più sostenibile (Schlaeppli & Bulgarelli, 2015).

IL MICROBIOMA E IL CONCETTO DI OLOBIONTE

Il campo della ricerca sul microbioma si è evoluto rapidamente negli ultimi decenni ed è diventato un argomento di grande interesse scientifico e pubblico (Hadrich, 2018). Come risultato di questa rapida crescita di interesse che copre diversi settori, ci manca una chiara definizione comunemente concordata del termine "microbioma". Come anche un consenso sulle migliori pratiche nella ricerca sul microbioma. Alcuni con il termine microbioma indicano i batteri presenti in una comunità microbica, non considerando affatto i virus, i protozoi e altri organismi che possono essere presenti; altri usano le parole microbiota e microbioma in modo intercambiabile, anche se questi termini sono diversi. Di recente, un gruppo di esperti internazionali ha fornito una nuova definizione di "microbioma" (<https://www.microbiomesupport.eu/the-microbiome-re-defined/>) (Berg et al., 2020), basandosi su

quella suggerita da un Whipps e dai suoi colleghi nel 1988 (Whipps et al., 1988), con alcuni dettagli aggiuntivi basati sulle nuove conoscenze che abbiamo sul microbioma.

Con il termine *microbioma* si intende una caratteristica comunità microbica che occupa un ben definito habitat con distinte proprietà fisico-chimiche. Il microbioma non si riferisce ai soli microorganismi ma abbraccia anche il loro teatro di attività, con la formazione di nicchie ecologiche specifiche. Il microbioma, che forma un micro-ecosistema dinamico e interattivo soggetto a cambiamenti nel tempo e nello spazio, è integrato nel macro-ecosistema comprensivo dell'ospite eucariotico, rivelandosi cruciale per il suo funzionamento e stato di salute. Il *microbiota*, invece, consiste nell'assemblaggio di microorganismi appartenenti a differenti Regni [Procarioti (Batteri e Archea), Eucarioti (e.g. Protozoi, Fungui e Alghie)], mentre il suo *teatro di attività* include elementi strutturali microbici (proteine/peptidi, lipidi, polisaccaridi), metaboliti microbici (molecole segnale, tossine, molecole organiche), acidi nucleici ed elementi genetici mobili (e.g. trasposoni, fagi, virus) come pure "relic-DNA", ovvero frammenti di DNA extracellulare rilasciati nell'ambiente o in cellule non integre (Carini et al., 2016)).

La maggior parte degli ecosistemi naturali è caratterizzata da un alto grado di strutturazione spaziale, che è stata considerata importante per molti servizi ecosistemici (Soliveres et al., 2016). I terreni sono costituiti principalmente da microaggregati (<0,25 mm), che legano il carbonio organico del suolo e lo proteggono dalla rimozione per erosione e da macroaggregati (da 0,25 a 2 mm), che limitano la diffusione dell'ossigeno e regolano il flusso dell'acqua; ciascuno degli aggregati fornisce una nicchia ecologica unica, con la sua caratteristica struttura del microbioma. I suoli sono caratterizzati dall'esistenza dei cosiddetti hotspot microbici colonizzati da una frazione di microrganismi con un metabolismo attivo circa 2-20 volte superiore rispetto agli hotspot non microbici, rendendo i cambiamenti temporali nella struttura e nella funzione del microbioma molto più dinamici rispetto ai siti con minore attività microbica (Kuz'yakov & Blagodatskaya, 2015). I suoli sono gli ecosistemi con la composizione più diversificata di microbiota sulla Terra come conseguenza della presenza di così tante nicchie diverse. Poiché le piante e la lavorazione del terreno influenzano in larga misura la struttura del suolo, una perdita di diversità vegetale ha un forte impatto anche sulla biodiversità del microbioma del suolo. Tuttavia, la risposta alla domanda «i cambiamenti nel microbioma del suolo inducono cambiamenti nella diversità delle piante o viceversa?» rimane ancora poco chiara. Anche la colonizzazione della pianta da parte del

microbiota non è uniforme. È noto che, ad esempio, le foglie ospitano un microbiota diverso rispetto alla radice, e la radice stessa è colonizzata in modo eterogeneo dai microbi, con microbiota diverso lungo la lunghezza della rizosfera e alla superficie della radice rispetto alla radice interna. Recentemente, il tema del microbiota da seme ha attirato l'attenzione come possibile modalità per la trasmissione verticale di un microbiota di base da una generazione di piante all'altra (Berg & Raaijmakers, 2018). Simile alle piante, il corpo umano non è colonizzato in modo omogeneo dai microbi: ogni compartimento del corpo contiene il proprio microbiota (Proctor & Relman, 2017) e anche il microbiota di un sito del corpo può differire a seconda dell'area di campionamento.

Le piante hanno sviluppato una strategia unica per contrastare gli stress biotici e abiotici co-evolvendo simbioticamente con i microrganismi e sfruttando il loro genoma per questo scopo. Gli studi dell'ultimo decennio hanno rivelato che le piante si sono evolute con una pletera di microrganismi le cui funzioni sono vitali ed essenziali per la crescita e la salute delle piante stesse. Le strette relazioni tra la pianta e i microrganismi a essa associati hanno dato origine alla teoria della coevoluzione dell'ospite e del suo microbiota associato (Cordovez et al., 2019). La coevoluzione è l'adattamento reciproco degli organismi che condividono lo stesso ecosistema in risposta alle modificazioni dell'ambiente in cui vivono. Ad esempio, la formazione e crescita di piante terrestri primitive è facilitata dalle associazioni simbiotiche fungine, suggerendo che le piante si sono evolute con i microbi sin dalla loro prima apparizione sulla terra. Un altro esempio lo ritroviamo negli eucarioti; mitocondri e plastidi sono organelli all'interno delle cellule eucariotiche che derivano da batteri endosimbiotici e che, durante la coevoluzione, sono diventati interamente dipendenti dai loro ospiti e viceversa (Berg et al., 2020). La coevoluzione del microbo ospite è importante da considerare per facilitare una comprensione olistica del microbiota (Rosenberg & Zilber-Rosenberg, 2016; Zilber-Rosenberg & Rosenberg, 2008). L'approccio olistico vede l'ospite e il suo microbiota associato come un'unità (il cosiddetto olobionte), che coevolve come un'unica entità. Il flusso dinamico di microrganismi da un ospite all'altro e all'ambiente, descritto dal concetto di *One Health*, è alla base dell'approccio olistico nella coevoluzione. Il genoma della pianta e il genoma dei microrganismi che la pianta ospita nei diversi tessuti vegetali, vale a dire il "microbioma vegetale", costituiscono quel che si definisce un "olobioma" che è ora considerato come unità di selezione, ovvero un unico bersaglio della selezione naturale che evolve come un unico individuo: "l'olobionte". Questo genoma esteso (l'ologenoma) meglio definisce le capacità reali di un orga-

nismo rispetto ai soli genomi vegetali presenti in ciascuna delle sue cellule. Il concetto di olobionte, introdotto da Lynn Margulis nel 1991 (Margulis, 1991), ha assunto oggi un significato generale con il riconoscimento della universale presenza di microrganismi variamente associati a organismi eucarioti pluricellulari, che ha portato a indicare nell'olobionte e nel suo ologeno- ma uno dei livelli fondamentali della selezione evolutiva, un'entità dinamica, sempre impegnata nella ridefinizione dell'equilibrio vantaggioso tra le varie componenti in gioco. Un "olobionte" è quindi un assemblaggio dell'individuo e dei suoi simbionti che vivono e funzionano come un'unità di organizzazione biologica, che hanno la capacità di replicarsi e trasmettere l'informazione genetica; quindi, un'unità di selezione (Zilber-Rosenberg & Rosenberg, 2008). In effetti, il genoma collettivo del microbioma della rizosfera è molto più grande di quello della pianta e quindi indicato come secondo genoma o pan-genoma della pianta (Berendsen et al., 2012). Lo sviluppo della teoria dell'olobionte sta ora svelando una nuova base di variazione genetica, che è ereditabile e offerta dal microbioma vegetale, in particolare dal compartimento endofitico (Nogales et al., 2016; Ryan et al., 2008). Il miglioramento delle piante deve riconoscere questa evidenza e procedere considerando pianta e microrganismi associati come un'unica unità di selezione (Gopal & Gupta, 2016). Le comunità microbiche endofitiche associate ai semi sono di grande importanza perché rappresentano la principale fonte di inoculo microbico nella coltivazione delle colture. I progressi nella conoscenza del microbioma associato ai semi sono pertanto diventati fondamentali in quanto costituiscono la base della trasmissione verticale dei microrganismi e, quindi, agiscono come un serbatoio strettamente collegato del microbioma endofitico delle piante che ha molti effetti positivi sulla germinazione e sulla crescita delle piante. La trasmissione di batteri endofitici può avvenire dalla pianta madre ai semi e quindi alle piantine (trasmissione verticale) oppure orizzontalmente dall'ambiente (attraverso il suolo, l'atmosfera e gli insetti) ad ogni nuova generazione (Frank et al., 2017).

LE POTENZIALITÀ DEL MICROBIOMA PER UNA NUOVA RIVOLUZIONE AGRICOLA

La maggior parte del cibo che mangiamo è prodotta nel suolo e sul terreno. Il cibo che mangiamo e il modo in cui lo produciamo hanno subito profondi cambiamenti nell'ultimo secolo. Il consumo di alimenti trasformati con una durata di conservazione più lunga e di cibi pronti è in aumento. Allo stesso tempo, la popolazione umana è in rapida espansione. L'agricoltura moderna

non si preoccupa pertanto più di salvaguardare la fertilità dei suoli, ma per garantire la produzione di alimenti in maggiori quantità e a prezzi più accessibili, ha determinato un eccessivo consumo di acqua ed energia e un aumento nella produzione di anidride carbonica più del necessario. Ora è giunto il momento di ripensare il nostro rapporto con il cibo che consumiamo e anche con il territorio e le comunità che lo producono. Al giorno d'oggi, la produzione agricola deve affrontare molte sfide come il cambiamento climatico, lo sviluppo demografico e il conseguente aumento della domanda alimentare, e c'è una crescente domanda di produzione sostenibile e la necessità di una continua innovazione nell'identificazione di nuove fonti alimentari a prezzi accessibili e di alimenti altamente nutrienti.

Il suolo è la base di produzione della nostra alimentazione e rappresenta la banca della diversità microbica da cui una pianta preleva selettivamente il suo microbioma per soddisfare le sue esigenze. Esso è una preziosa risorsa naturale che ospita hotspot microbici svolgendo un ruolo fondamentale nel mantenimento dell'equilibrio globale dei nutrienti e della funzione degli ecosistemi. Nel suolo sono presenti numerosi e diversi microrganismi che svolgono funzioni essenziali nei cicli degli elementi (C, N, S, P, altri) e che contribuiscono in maniera sostanziale al benessere dell'ecosistema, sia a livello di salute dei suoli stessi che di sviluppo delle piante. Non soltanto i microrganismi del suolo, ma anche rizobatteri, simbionti ed endofiti partecipano alla vita della pianta, favorendone la crescita attraverso molteplici meccanismi quali fissazione dell'azoto, solubilizzazione del fosforo, produzione di acido indolacetico, siderofori e antibiotici. I diversi gruppi di microrganismi rappresentano pertanto la componente chiave del sistema suolo-pianta, dove è impegnata un'intensa rete di interazioni nella rizosfera, nei tessuti interni della pianta e nella fillosfera (fig. 2) (Barberán et al., 2012; Hassani et al., 2018). I microbiomi del suolo e delle piante (rizosferici, endofitici ed epifiti) svolgono un ruolo importante nella crescita e sviluppo delle piante, e nella salute del suolo; forniscono alla pianta un genoma secondario che offre funzioni ecologiche chiave e favoriscono l'ospite; sono in grado di influenzare la salute delle piante e la produttività, migliorando la tolleranza allo stress e fornendo, pertanto, un vantaggio adattivo; mediano diversi tratti funzionali delle piante; influenzano la plasticità fenotipica delle piante; sono fondamentali per garantire la qualità e la sicurezza della produzione primaria delle piante, compresi i frutti e i relativi alimenti trasformati (Compant et al., 2019; Panke-Buisse et al., 2015; Timmusk et al., 2017). L'utilizzo del potenziale funzionale dei microbiomi del suolo e delle piante potrà portare a una riduzione degli input chimici, all'aumento della qualità e sicurezza dei raccolti e dei prodotti ali-

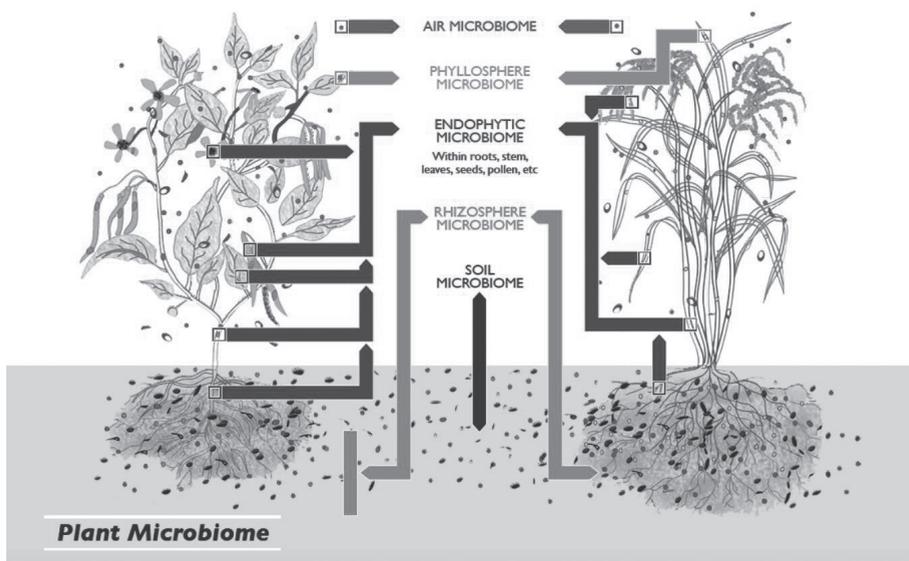


Fig. 2 Descrizione del microbioma vegetale, tratta dal Concept paper: *Italian microbiome initiative for improved human health and agri-food production*, del Comitato Nazionale per la Biosicurezza, le Biotecnologie e le scienze della vita. Il microbioma vegetale può essere descritto come la somma totale del contributo genomico apportato dalle diverse comunità microbiche che abitano la superficie e i tessuti interni delle parti della pianta. Le comunità microbiche si trovano principalmente nella rizosfera, nell'endosfera e nella fillosfera. Il microbioma del suolo è la principale fonte da cui la pianta seleziona e costruisce il suo profilo microbiomico

mentari, incrementando allo stesso tempo la fornitura di funzioni ecosistemiche benefiche per l'ambiente e la salute umana (Chaparro et al., 2012; Gopal & Gupta, 2016; Song et al., 2020).

La selezione dei microbiomi potrebbe stimolare le strategie di miglioramento genetico delle piante di prossima generazione. I microbiomi vegetali possono essere migliorati per una produzione più sostenibile di alimenti di alta qualità modulando la crescita di piante e animali, controllando il loro sviluppo fisiologico, potenziando le loro difese contro agenti patogeni e insetti nocivi, migliorando la qualità dei nutrienti e controllando la resistenza allo stress (Lugtenberg, 2015). Le soluzioni basate sui microbiomi forniscono spunti di riflessione sulla riprogettazione delle catene alimentari al fine di renderle più resilienti alle crisi connesse con i mercati e le società globali. L'uso di microbi benefici per migliorare non solo la crescita e la resa delle piante, ma anche la qualità dei nutrienti delle colture rappresenta uno strumento promettente che può rispondere alle sfide dell'agricoltura moderna.

Un'agricoltura migliorata, modificata e post-COVID-19 richiederà anche un atteggiamento più rispettoso degli equilibri ecologici negli agroecosistemi e il coinvolgimento degli sforzi delle diverse discipline scientifiche verso lo sviluppo di tecnologie mature, a garanzia della produzione di alimenti per tutti (Stanca, 2017).

IL MICROBIOMA AL CENTRO DELLA SOSTENIBILITÀ DELLA PRODUZIONE ALIMENTARE

In questi ultimi anni si è compreso lo straordinario valore che il microbioma ha per le piante e per l'essere umano e si sta cercando ora di capire come sfruttarlo per migliorare la produzione delle colture e la vita dell'uomo. Nel settore agro-alimentare, le potenzialità del microbioma sono enormi. Come avviene per la salute umana, l'obiettivo dei ricercatori è quello di utilizzare creare degli integratori per avere un microbioma sano e utile alle piante. (Woo & Pepe, 2018). La sfida è quella di individuare, isolare e studiare i batteri "buoni" per poi farli riprodurre e applicarli alle colture. I biostimolanti hanno lo scopo di difendere le piante dagli stress abiotici, come il caldo, la mancanza di luce o la siccità. Ma anche aumentare la capacità di assorbimento dei nutrienti o migliorare la qualità della produzione. I batteri possono essere utilizzati anche per difendere le colture da altri microrganismi, come i funghi, o da insetti. Possono proteggere le piante competendo con i microrganismi patogeni per la stessa nicchia ecologica, producendo inibitori o inducendo resistenze sistemiche nella pianta ospite. L'utilizzo di consorzi microbici sintetici costituiti da microrganismi benefici per la pianta con diverse funzioni, come batteri che fissano l'azoto, microbi solubilizzanti fosfatici, rizobatteri che promuovono la crescita delle piante (PGPR) e micorrize arbuscolari, in grado di agire in maniera sinergica, sono diventati un'alternativa ecologicamente favorevole per integrare gli input inorganici e favorire lo sviluppo della pianta. Tuttavia, le applicazioni microbiche non hanno sempre funzionato ai livelli previsti in condizioni ecologiche diverse (Ambrosini et al., 2016). Una delle possibili spiegazioni potrebbe essere che i microbi introdotti non sono stati in grado di trovare nel suolo i loro gruppi interdipendenti come nei terreni nativi da cui erano originariamente isolati, il che li avrebbe aiutati a condividere e scambiare metaboliti critici come gli aminoacidi e zuccheri per promuovere la loro sopravvivenza in microambienti difficili. In breve, i microrganismi dipendono dai loro gruppi affinché i metaboliti chiave possano coesistere in un ambiente con diverse comunità microbiche (Zelezniak et al., 2015). Ciò

evidenzia ancora una volta il fatto che i microrganismi funzionano in modalità di rete e la loro rete offre un'ampia base di diversità genomica microbica che potrebbe influire sulla variabilità genetica delle piante.

Selezionare e portare in campo i batteri buoni quindi può non essere sufficiente, bisogna anche creare un ambiente favorevole al loro sviluppo. Molti ricercatori hanno affrontato il tema degli inoculanti microbici e hanno cercato di garantire e assicurare l'efficacia anche in pieno campo, non sempre con successo. Si è visto come le pratiche agricole o il genotipo della pianta possano influenzare il microbioma della pianta, e quindi il suo funzionamento. Anche l'uso di biochar come ammendante porta a un miglioramento della struttura del suolo, aumentandone la ritenzione idrica, e fornisce ai batteri buoni l'habitat ideale dove moltiplicarsi. Più di recente, utilizzando il trapianto di suolo, è stato dimostrato che le comunità vegetali possono essere ripristinate rapidamente su terreni degradati o disturbati, con comunità del suolo come microbi, nematodi e microartropodi che rappresentano i principali driver (Wubs et al., 2016). Diverse sono quindi le strade che possono portare a una nuova generazione di inoculanti e all'applicazione di microbiomi in agricoltura che potrebbe dare avvio a una nuova rivoluzione verde, molto più sostenibile rispetto alla precedente (Qiu et al., 2019).

Le applicazioni microbiche rappresentano strumenti di eccellenza per lo sviluppo della *bioeconomia* e della *biosostenibilità*. La *bioeconomia* si prefigge di favorire l'accesso alle importanti collezioni nazionali di microrganismi e valorizzare la biodiversità microbica; migliorare la comprensione del ruolo dei microrganismi come attori biologici strategici per la resilienza ma anche la salute e la produttività delle piante e degli animali terrestri e acquatici/marini nonché degli ecosistemi del suolo e delle acque; utilizzare i microbiomi benefici come determinanti di produttività, qualità, sicurezza, adatti per la produzione agroalimentare sostenibile nel contesto delle grandi sfide climatiche.

Nel 2018, ha preso avvio una proposta di azione di coordinamento e sostegno (CSA) delle attività di Ricerca e Innovazione (R&I) sul microbioma nel sistema alimentare a sostegno degli obiettivi della Comunità Europea e della bioeconomia internazionale. MicrobiomeSupport: Towards a sustainable and circular, microbiome-based bioeconomy (<https://www.microbiome-support.eu/about/>) ha l'obiettivo generale di stabilire una rete internazionale di esperti sul microbioma, elaborando microbiomi da vari ambienti come terrestre, vegetale, acquatico, alimentare, animale e umano al fine di valutarne l'applicabilità e l'impatto sul sistema alimentare. Tale azione tuttora in corso promuoverà la ricerca e l'innovazione nel microbioma e promuoverà la bioeconomia e la strategia FOOD 2030. Il programma Horizon 2020,

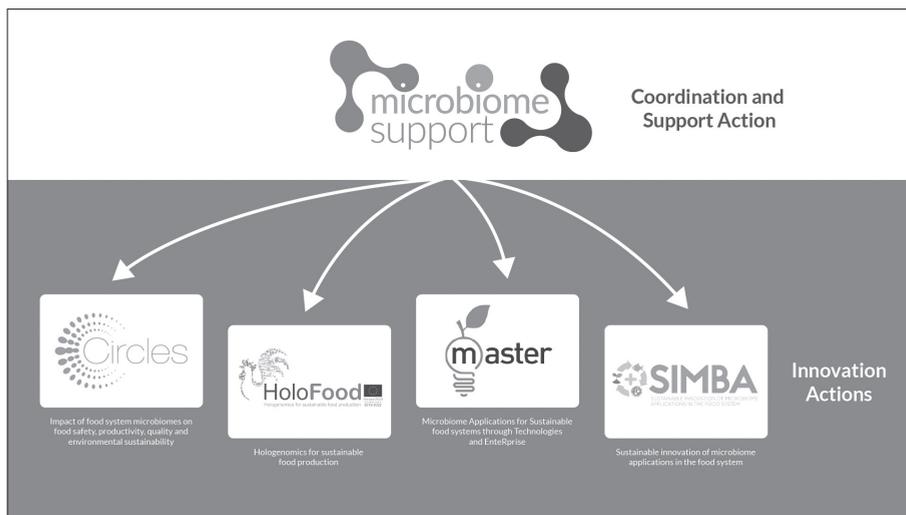


Fig. 3 L'azione di coordinamento MicrobiomeSupport e i progetti ad essa legati <https://www.microbiomesupport.eu/project-partners-2/>

in risposta alla call LC-SFS-03-2018 “Microbiome applications for sustainable food systems”, ha finanziato nel 2018 ben quattro progetti, supportati dal MicrobiomeSupport Project (fig. 3), che si prefiggono di sfruttare le potenzialità del microbioma per *aumentare la produttività e la sostenibilità delle catene alimentari* e creare nuovi alimenti sostenibili e di qualità. I progetti CIRCLES (*Controlling mIcRobiomes CircuLations for bEtter food Systems*) (<https://circle-project.eu>), SIMBA (*Sustainable Innovation of MicroBiome Applications in Food System*) (<https://simbaproject.eu>), MASTER (*Microbiome Applications for Sustainable food systems through Technologies and EnteRprise*) (<https://www.master-h2020.eu>) e HOLOFOOD (*Unlocking a Holo-Omic framework for food production*) (<https://www.holofood.eu>), vedono i ricercatori impegnati nella produzione in modo sostenibile di alimenti di qualità per tutti, aumentando la produttività e la sostenibilità delle catene alimentari e sfruttando meno le risorse grazie all’utilizzo del potenziale metabolico dei microorganismi in tutti i passaggi della filiera alimentare (suolo, acqua, mangimi, piante, animali, uomo). L’obiettivo è quello di utilizzare soluzioni *microbiome-based* in grado di i) identificare le interrelazioni tra i microbiomi attraverso le catene alimentari, ii) provvedere al sostentamento e alla sicurezza alimentare di una popolazione mondiale sempre più in crescita, iii) garantire una maggiore produzione di cibo, sfruttando meno le risorse naturali e riducendo gli sprechi, iv) aumentare la qualità degli alimenti e realizzare anche prodotti alimentari e alimenti fermentati con effetti benefici sulla salute umana e v) migliorare

l'efficienza dei sistemi di produzione alimentare mediante l'uso di additivi per mangimi e nuovi mangimi sostenibili negli animali da allevamento.

LE APPLICAZIONI DEI MICROBIOMI: DALLA SALUTE DELLE PIANTE ALLA SALUTE DELL'ESSERE UMANO

La crescente disponibilità di dati sul microbioma, guidata dai progressi nelle tecnologie delle scienze omiche, ha portato a un aumento nella nostra comprensione del potenziale dei microbiomi per migliorare la produttività e la sostenibilità del sistema agroalimentare, ma non solo (Sergaki et al., 2018; Wei et al., 2019). La grande visione della ricerca applicata sul microbioma è quella di migliorare la salute di esseri umani, animali, piante e di interi ecosistemi. In generale, i microbiomi possono essere gestiti direttamente applicando (i) trapianti di microbiomi, (ii) microbiomi sintetici contenenti le specie *keystone* con proprietà benefiche o (iii) metaboliti attivi per il microbiota, o indirettamente modificando le condizioni ambientali in modo che anche i microbiomi possano cambiare la loro struttura e funzione passando dalla disbiosi allo stato di salute (Berg, 2009; Hadrich, 2018). Quando si confrontano le applicazioni basate sul microbioma tra esseri umani, animali e sistemi di coltivazione, è visibile una straordinaria sinergia (fig. 4). Sebbene i rispettivi campi non siano ancora ben collegati, una tendenza coerente è diventata evidente in tutte le aree. Questa tendenza prevede un focus su trattamenti su misura, come ad esempio l'agricoltura di precisione di "prossima generazione" o la medicina personalizzata. Questo concetto si basa sulla comprensione fondamentale di quelle particolari interazioni ospite-microbo, ambiente-microbo e microbo-microbo che mediano l'assemblaggio del microbioma e le capacità funzionali in diversi contesti.

La medicina personalizzata si riferisce a un modello medico che propone di adattare pratiche o prodotti sanitari su misura per il singolo paziente. Le terapie ottimali vengono scelte sulla base dei risultati ottenuti dalla diagnostica molecolare e nel contesto del corredo genetico del paziente. Ispirata al concetto di medicina personalizzata, l'agricoltura di nuova generazione dovrebbe mirare a personalizzare le pratiche e gli strumenti adattati all'ambiente del suolo individuale. Analogamente, il microbioma vegetale è stato identificato come la chiave di volta per la prossima rivoluzione verde e potrebbe fornire la base per la scelta razionale del trattamento agricolo appropriato (Berg et al., 2020). Il vasto mondo degli invisibili, egregiamente descritto da Marco Nuti (Nuti, 2020), rappresenta un alleato fondamentale per una crescita sana

e vigorosa delle piante e per la produzione di alimenti con maggior valore nutraceutico. La ricerca sui microbiomi vegetali sosterrà approcci di gestione mirati e predittivi che sono adatti alle condizioni specifiche del campo e possono quindi portare a una maggiore sostenibilità. Grazie alle tecniche di sequenziamento genetico e alle tecnologie di produzione, siamo ora arrivati a un punto in cui possiamo identificare e coltivare efficacemente e a basso costo i batteri chiave e le giuste specie di funghi e applicarli in agricoltura su larga scala. Possiamo produrre questi “fertilizzanti biologici” e aggiungerli a semi di soia, mais, verdure o altri semi per coltivare e nutrire la pianta. Possiamo immaginare un futuro in cui, sulla base della determinazione precisa del microbioma del suolo e delle piante, si possa delineare un intervento razionale con inoculanti microbici sul campo. Gli agricoltori potranno così ottimizzare i propri raccolti capitalizzando le caratteristiche microbiche e, allo stesso tempo, riducendo gli input costosi e non sostenibili di prodotti chimici per l'agricoltura (Schlaeppli & Bulgarelli, 2015). Anche il microbiota post-raccolta, strettamente legato al nostro microbiota alimentare, può essere gestito per la produzione di alimenti sani, di qualità o con nuove proprietà funzionali. Questa ulteriore applicazione del microbioma ancora poco esplorata porterà benefici emergenti sugli ecosistemi alimentari (Wisniewski & Drobny, 2019).

CONCLUSIONI E PROSPETTIVE

I microbiomi sono in grado di offrire un'importante variabilità genetica alle piante che può essere considerata per le future strategie di selezione delle piante, in particolare quando una tecnica sperimentale come la selezione dell'ecosistema artificiale è ora disponibile per trasferire l'intera comunità microbica. L'approccio del futuro è quello di co-propagare il co-evoluto, cioè il genoma della pianta e il suo microbioma. I futuri programmi di miglioramento genetico dovranno tener conto proprio della funzionalità della parte ipogea e del microbioma vegetale in modo che, ad esempio, le cultivar di piante di nuova generazione abbiano maggiori capacità di interagire con i microbi benefici del microbiota naturale del suolo o di inoculanti microbici (Nutti, 2020; Schlaeppli & Bulgarelli, 2015). La chiave per un'agricoltura sostenibile dipende dall'aumento della cooperazione tra le piante, i loro simbionti e gli agricoltori. Perché ciò accada, la consapevolezza tra gli agricoltori del ruolo benefico dei microrganismi nella produzione e protezione delle piante dovrà essere rafforzata attraverso programmi di comunicazione innovativi (Shugarta & Racaniello, 2015). È necessario, pertanto, un importante cambiamento di paradigma nella produzione agricola per soddisfare le esigenze

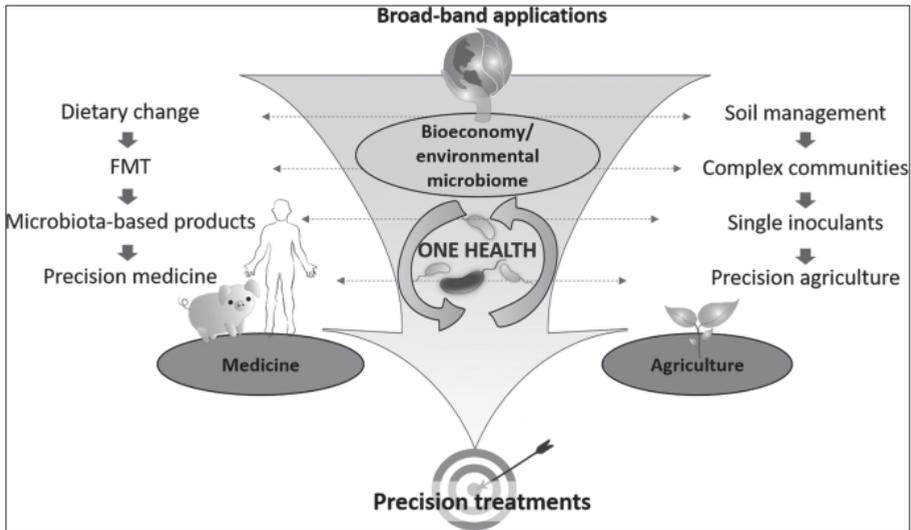


Fig. 4 *Tratto da: Microbiome definition re-visited: old concepts and new challenges (Berg et al., 2020). Lo schema mostra i possibili campi di applicazioni di microbiomi in agricoltura e medicina. L'interconnessione tra queste aree è alla base dell'approccio One Health. Le sinergie tra le applicazioni del microbioma nelle aree della medicina (a sinistra) e dell'agricoltura (a destra) sono mostrate con le frecce orizzontali mentre con le frecce verticali è indicato seguono il flusso (dalle applicazioni su vasta scala (parte superiore) ai trattamenti di precisione (parte inferiore))*

di una popolazione mondiale globale che si prevede raggiungerà i 9,7 miliardi nel 2050. Dobbiamo aumentare la produttività delle colture in modo sostenibile preservando la biodiversità, le risorse naturali e il reddito dei coltivatori nel contesto del cambiamento climatico. I sistemi di produzione agricola globale stanno affrontando molte sfide, tra cui un clima in rapida evoluzione, una maggiore esposizione a fattori di stress biotici e abiotici come parassiti, scarsa qualità del suolo, scarsa disponibilità di acqua e calore eccessivo. Inoltre, ci sono restrizioni normative sempre più esigenti che limitano gli strumenti che i coltivatori possono utilizzare per produrre cibo in modo sostenibile e rispettoso dell'ambiente. Per ottimizzare la produttività e la redditività sostenibili in aziende agricole, pascoli e foreste, scienziati e coltivatori devono adottare un approccio olistico a livello di sistema. Per affrontare queste sfide, dobbiamo allontanarci dagli approcci riduzionisti che si concentrano su una o due discipline e spingerci verso una comprensione transdisciplinare delle piante in un ambiente biologico e geofisico specifico, cioè i loro "fitobiomi". Il termine "fitobioma" si riferisce a una pianta che cresce all'interno di un ambiente specifico (o bioma) e tutti i micro e macro organismi che vivono in, su o intorno ad esso – come microbi, animali, insetti e altre piante

– e l'ambiente geofisico, che include suolo, aria, acqua, tempo e clima. I fitobiomi hanno un ruolo importante nella salute e nella produttività sostenute delle piante e degli ecosistemi vegetali. Poiché le interazioni all'interno dei fitobiomi sono dinamiche e complesse, è necessario acquisire una maggiore comprensione di come i diversi componenti interagiscono e si influenzano a vicenda per garantire la sicurezza alimentare globale sostenibile nei prossimi decenni nel contesto della crescita della popolazione, dei cambiamenti climatici e della necessità di preservare la biodiversità e le risorse naturali. Un approccio sistemico che integra la selezione delle piante, l'agricoltura di precisione, la gestione agricola e le applicazioni dei microbiomi fornisce una potente strategia per migliorare la produzione di colture sostenibili in un mondo in continuo cambiamento.

RINGRAZIAMENTI

Annamaria Bevivino esprime la sua gratitudine al marito Andrea e ai figli Matteo, Marta e Paolo per il sostegno e la pazienza esercitata durante la stesura di questo articolo. Si ringrazia il dott. Massimo Iannetta per i preziosi consigli.

BIBLIOGRAFIA

- AMBROSINI A., DE SOUZA R. & PASSAGLIA L.M.P. (2016): *Ecological role of bacterial inoculants and their potential impact on soil microbial diversity*, «Plant and Soil», 400, pp. 193-207, <<https://doi.org/10.1007/s11104-015-2727-7>>.
- ATLAS R.M. (2013): *One health: Its origins and future*, in MACKENZIE J., JEGGO M., DASZAK P., RICHT J. (eds), *One Health: The Human-Animal-Environment Interfaces in Emerging Infectious Diseases*, «Current Topics in Microbiology and Immunology», vol. 365, Springer, Berlin, Heidelberg, <https://doi.org/10.1007/82_2012_223>.
- BAHADUR POUDEL P., RAM POUDEL M., GAUTAM A., PHUYAL S., KRISHNA TIWARI C., BASHYAL N. & BASHYAL S. (2020): *COVID-19 and its Global Impact on Food and Agriculture*, «J Biol Today's World», 9 (5), p. 221.
- BARBERÁN A., BATES S.T., CASAMAYOR E.O. & FIERER N. (2012): *Using network analysis to explore co-occurrence patterns in soil microbial communities*, «The ISME Journal», 6 (2), pp. 343-351, <<https://doi.org/10.1038/ismej.2011.119>>.
- BERENDSEN R.L., PIETERSE C.M.J. & BAKKER P.A.H.M. (2012): *The rhizosphere microbiome and plant health*, «Trends in Plant Science», 17 (8), pp. 478-486, <<https://doi.org/10.1016/j.tplants.2012.04.001>>.
- BERG G. & RAAIJMAKERS J.M. (2018): *Saving seed microbiomes*, «The ISME Journal», 12, pp. 1167-1170, <<https://doi.org/10.1038/s41396-017-0028-2>>.
- BERG G., RYBAKOVA D., FISCHER D., CERNAVA T., VERGÈS M.C.C., CHARLES T., CHEN X., COCOLIN L., EVERSOLE K., CORRAL G.H., KAZOU M., KINKEL L., LANGE L., LIMA

- N., LOY A., MACKLIN J.A., MAGUIN E., MAUCLINE T., McCLURE R., ... SCHLOTTER M. (2020): *Microbiome definition re-visited: old concepts and new challenges*, «Microbiome», 8, 103, <<https://doi.org/10.1186/s40168-020-00875-0>>.
- CARINI P., MARSDEN P.J., LEFF J.W., MORGAN E.E., STRICKLAND M.S. & FIERER N. (2016): *Relic DNA is abundant in soil and obscures estimates of soil microbial diversity*, «Nature Microbiology», 2, 16242, <<https://doi.org/10.1038/nmicrobiol.2016.242>>.
- CHAPARRO J.M., SHEFLIN A.M., MANTER D.K. & VIVANCO J.M. (2012): *Manipulating the soil microbiome to increase soil health and plant fertility*, «Biology and Fertility of Soils», 48, pp. 489-499, <<https://doi.org/10.1007/s00374-012-0691-4>>.
- COMPANT S., SAMAD A., FAIST H. & SESSITSCH A. (2019): *A review on the plant microbiome: Ecology, functions, and emerging trends in microbial application*, «Journal of Advanced Research», 19, pp. 29-37, <<https://doi.org/10.1016/j.jare.2019.03.004>>.
- CORDOVEZ V., DINI-ANDREOTE F., CARRIÓN V.J. & RAAIJMAKERS J.M. (2019): *Ecology and evolution of plant microbiomes*, «Annual Review of Microbiology», 73 (1), pp. 69-88, <<https://doi.org/10.1146/annurev-micro-090817-062524>>.
- DESTOUMIEUX-GARZÓN D., MAVINGUI P., BOETSCH G., BOISSIER J., DARRIET F., DUBOZ P., FRITSCH C., GIRAUDOUX P., ROUX F. LE, MORAND S., PAILLARD C., PONTIER D., SUEUR C. & VOITURON Y. (2018): *The one health concept: 10 years old and a long road ahead*, «Frontiers in Veterinary Science», 5, 14, <<https://doi.org/10.3389/fvets.2018.00014>>.
- FLETCHER J., FRANZ D. & LECLERC J.E. (2009): *Healthy plants: necessary for a balanced "One Health" concept*, «Veterinaria Italiana», 45 (1), pp. 79-95, <<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/20391392>>.
- FRANK A., SALDIERNA GUZMÁN J. & SHAY J. (2017): *Transmission of Bacterial Endophytes*, «Microorganisms», 5 (4), p. 70, <<https://doi.org/10.3390/microorganisms5040070>>.
- GOPAL M. & GUPTA A. (2016): *Microbiome selection could spur next-generation plant breeding strategies*, «Frontiers in Microbiology», 7, 1971, <<https://doi.org/10.3389/fmicb.2016.01971>>.
- HADRICH D. (2018): *Microbiome research is becoming the key to better understanding health and nutrition*, «Frontiers in Genetics», 9, 212, <<https://doi.org/10.3389/fgene.2018.00212>>.
- HASSANI M.A., DURÁN P. & HACQUARD S. (2018): *Microbial interactions within the plant holobiont*, «Microbiome», 6, 58, <<https://doi.org/10.1186/s40168-018-0445-0>>.
- KUZYAKOV Y. & BLAGODATSKAYA E. (2015): *Microbial hotspots and hot moments in soil: Concept & review*, «Soil Biology and Biochemistry», 83, pp. 184-189, <<https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2015.01.025>>.
- LUGTENBERG B. (2015): *Principles of plant-microbe interactions: Microbes for sustainable agriculture*, «Principles of Plant-Microbe Interactions: Microbes for Sustainable Agriculture», Springer International Publishing, <<https://doi.org/10.1007/978-3-319-08575-3>>.
- MARGULIS L. (1991): *Symbiosis as a source of evolutionary innovation*, in *Symbiosis as a Source of Evolutionary Innovation: Speciation and Morphogenesis*, Lynn Margulis and René Fester (Eds.), Cambridge (Mass): MIT press.
- NOGALES A., NOBRE T., VALADAS V., RAGONEZI C., DÖRING M., POLIDOROS A. & ARNHOLDT-SCHMITT B. (2016): *Can functional hologenomics aid tackling current challenges in plant breeding?*, «Briefings in Functional Genomics», 15, pp. 288-297, <<https://doi.org/10.1093/bfpg/elv030>>.

- NUTI M. (2020): *Gli invisibili in agricoltura*, Accademia dei Georgofili, <<http://www.georgofili.it/Media?c=8d245690-0af3-42bc-bac8-b73c6e07482a>>.
- PANKE-BUISSÉ K., POOLE A.C., GOODRICH J.K., LEY R.E. & KAO-KNIFFIN J. (2015): *Selection on soil microbiomes reveals reproducible impacts on plant function*, «The ISME Journal», 9, pp. 980-989, <<https://doi.org/10.1038/ismej.2014.196>>.
- PÉREZ-JARAMILLO J.E., MENDES R. & RAAIJMAKERS J.M. (2016): *Impact of plant domestication on rhizosphere microbiome assembly and functions*, «Plant Molecular Biology», 90, pp. 635-644, <<https://doi.org/10.1007/s11103-015-0337-7>>.
- PROCTOR D.M. & RELMAN D.A. (2017): *The Landscape Ecology and Microbiota of the Human Nose, Mouth, and Throat*, «Cell Host and Microbe», 21 (4), pp. 421-432, <<https://doi.org/10.1016/j.chom.2017.03.011>>.
- QIU Z., EGIDI E., LIU H., KAUR S. & SINGH B.K. (2019): *New frontiers in agriculture productivity: Optimised microbial inoculants and in situ microbiome engineering*, «Biotechnology Advances», 37 (6), 107371, <<https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2019.03.010>>.
- ROSENBERG E. & ZILBER-ROSENBERG I. (2016): *Microbes drive evolution of animals and plants: The hologenome concept*, «mBio», 7 (2):e01395, <<https://doi.org/10.1128/mBio.01395-15>>.
- RYAN R.P., GERMAINE K., FRANKS A., RYAN D.J. & DOWLING D.N. (2008): *Bacterial endophytes: Recent developments and applications*, «FEMS Microbiology Letters», 278 (1), pp. 1-9, <<https://doi.org/10.1111/j.1574-6968.2007.00918.x>>.
- SCHLAEPI K. & BULGARELLI D. (2015): *The plant microbiome at work*, «Molecular Plant-Microbe Interactions», 28 (3), pp. 212-217, <<https://doi.org/10.1094/MPMI-10-14-0334-FI>>.
- SERGAKI C., LAGUNAS B., LIDBURY I., GIFFORD M.L. & SCHÄFER P. (2018): *Challenges and approaches in microbiome research: from fundamental to applied*, «Frontiers in Plant Science», 9, 1205, <<https://doi.org/10.3389/fpls.2018.01205>>.
- SHUGARTA E.C. & RACANIELLO V.R. (2015): *Scientists: Engage the public!*, «mBio», 6 (6), pp. 1-2, <<https://doi.org/10.1128/mBio.01989-15>>.
- SOLIVERES S., VAN DER PLAS F., MANNING P. ET AL. (2016): *Biodiversity at multiple trophic levels is needed for ecosystem multifunctionality*, «Nature», 536, pp. 456-459, <<https://doi.org/10.1038/nature19092>>.
- SONG C., ZHU F., CARRIÓN V.J. & CORDOVEZ V. (2020): *Beyond Plant Microbiome Composition: Exploiting Microbial Functions and Plant Traits via Integrated Approaches*, «Frontiers in Bioengineering and Biotechnology», 8, 896, <<https://doi.org/10.3389/fbioe.2020.00896>>.
- STANCA M. (2017): *La scienza e le biotecnologie vegetali saranno pronte per assicurare alimenti alla popolazione mondiale del 2050?*, EAI Speciale - III 2015, 46-57, <<https://doi.org/10.12910/EAI2015-025>>.
- TIMMUSK S., BEHERS L., MUTHONI J., MURAYA A. & ARONSSON A.C. (2017): *Perspectives and challenges of microbial application for crop improvement*, «Frontiers in Plant Science», 8, 49, <<https://doi.org/10.3389/fpls.2017.00049>>.
- TRINH P., ZANEVELD J.R., SAFRANEK S. & RABINOWITZ P.M. (2018): *One Health Relationships Between Human, Animal, and Environmental Microbiomes: A Mini-Review*, «Frontiers in Public Health», 6, 235, <<https://doi.org/10.3389/fpubh.2018.00235>>.
- WEI Z., GU Y., FRIMAN V.P., KOWALCHUK G.A., XU Y., SHEN Q. & JOUSSET A. (2019): *Initial soil microbiome composition and functioning predetermine future plant health*, «Science Advances», 5 (9), eaaw0759, <<https://doi.org/10.1126/sciadv.aaw0759>>.
- WHIPPS J.M., KAREN L. & COOKE R.C. (1988): *Mycoparasitism and plant disease control*,

- in *Fungi in biological control systems*, NM Burge (Ed.), Manchester, UK: Manchester University Press, pp. 161-187, <<https://doi.org/10.1186/s40101-015-0061-7>>.
- WISNIEWSKI M. & DROBY S. (2019): *The postharvest microbiome: The other half of sustainability*, «Biological Control», 137, 104025, <<https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2019.104025>>.
- WOLF M. (2015): *Is there really such a thing as “one health”?* *Thinking about a more than human world from the perspective of cultural anthropology*, «Social Science and Medicine», 129, pp. 5-11, <<https://doi.org/10.1016/j.socscimed.2014.06.018>>.
- WOO S.L. & PEPE O. (2018): *Microbial consortia: Promising probiotics as plant biostimulants for sustainable agriculture*, «Frontiers in Plant Science», 9, 1801, <<https://doi.org/10.3389/fpls.2018.01801>>.
- WUBS E.R.J., VAN DER PUTTEN W.H., BOSCH M. & BEZEMER T.M. (2016): *Soil inoculation steers restoration of terrestrial Ecosystems*, «Nature Plants», 2, 16107, <<https://doi.org/10.1038/NPLANTS.2016.107>>.
- ZELEZNIAK A., ANDREJEV S., PONOMAROVA O., MENDE D.R., BORK P. & PATIL K.R. (2015): *Metabolic dependencies drive species co-occurrence in diverse microbial communities*, «Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America», 112 (20), pp. 6449-6454, <<https://doi.org/10.1073/pnas.1421834112>>.
- ZILBER-ROSENBERG I. & ROSENBERG E. (2008): *Role of microorganisms in the evolution of animals and plants: The hologenome theory of evolution*, «FEMS Microbiology Reviews», 32, pp. 723-725, <<https://doi.org/10.1111/j.1574-6976.2008.00123.x>>.

ARTICOLI COLLEGATI PUBBLICATI DALL'ACCADEMIA DEI GEORGOFILII:

- MARCO N. (2020): *Gli invisibili in agricoltura*.
- SORLINI C. (2020): *I microrganismi salveranno l'agricoltura?*
- VAMERALI T, DAL CORTIVO C, MOSCA G. (2020): *Biostimolanti microbici: una opportunità per accrescere la sostenibilità delle colture erbacee di pieno campo*.
- Autori vari (2012): *Simbionti, una risorsa per il benessere delle piante e degli animali*, Supplemento a «I Georgofili. Atti della Accademia dei Georgofili», Serie VIII, Vol. 9.

S. BENVENUTI¹, M. MAZZONCINI¹, G. FLAMINI², P.L. CIONI²

Erbicidi naturali per una gestione sostenibile di ecosistemi antropizzati

¹ Dipartimento di Scienze Agrarie, Ambientali e Agro-Ambientali, Università di Pisa

² Dipartimento di Farmacia, Università di Pisa

INTRODUZIONE

La crescente esigenza di sistemi colturali eco-compatibili ha stimolato la ricerca di una gestione “non chimica” della flora infestante. Gli oli essenziali sono una categoria molto promettente sia di pesticidi naturali in generale che di erbicidi. I terpenoidi, in particolare i monoterpeni e i sesquiterpeni, sono i fitochimici particolarmente attivi nel generare l'inibizione di germinazione e crescita delle infestanti (Benvenuti et al., 2017). La loro completa biodegradabilità assicura inoltre una loro assoluta compatibilità per l'ecosistema circostante al sito di applicazione. Al momento, l'affermazione agronomica degli erbicidi naturali ottenuti da oli essenziali solitamente estratti da specie aromatiche (menta, origano, timo ecc.) o da agrumi (aranci, limoni, bergamotto ecc.) è limitata dai costi elevati. Tuttavia molte specie spontanee hanno una buona concentrazione di queste sostanze e conseguentemente possono costituire una risorsa economicamente sostenibile di erbicidi naturali. Lo scopo della sperimentazione effettuata è stato quello di testare l'attività *in vitro* e *in vivo* di oli essenziali utilizzando la biodiversità delle asteracee spontanee ampiamente disponibili nei vari ecosistemi.

Per procedere alle varie fasi sperimentali sono state raccolte 20 diverse specie della sopraccitata famiglia botanica allo stadio di fine fioritura. Le sommità fiorite sono state essiccate e sottoposte a estrazione degli oli essenziali. Si è quindi proceduto sia alla valutazione della resa negli oli essenziali estratti che del potenziale produttivo per unità di superficie (m²) utilizzando in valori di biomassa (in sostanza secca) ottenuti dopo l'essiccazione in stufa delle piante raccolte. I test di valutazione *in vitro* dell'inibizione germinativa hanno preso in esame le 10 specie quantitativamente più promettenti come resa in oli



Foto 1 Fase di estrazione degli oli essenziali (A), di test di germinazione “in vitro” (B), fase di distribuzione degli oli essenziali in post-emergenza (C) ed effetto erbicida (sinistra) rispetto al controllo (destra) (D).

essenziali. I test di inibizione di germinazione e crescita sono stati effettuati su 2 importanti malerbe: *Amaranthus retroflexus* e *Setaria viridis*. I test di germinazione sono stati effettuati in capsula Petri del diametro di 15 cm (2 cm di altezza) opportunamente dotate di carta da filtro (Whatman n. 1) per il mantenimento dell'umidità. Gli oli essenziali sono stati inseriti (mediante micropipette) su contenitori di vetro concavi ($1\ \mu\text{l l}^{-1}$, $10\ \mu\text{l l}^{-1}$ e controllo con sola acqua distillata) in modo da saturare il volume interno delle capsule opportunamente sigillate mediante parafilm ed incubate alla temperatura di 25°C . I test *in vivo* sono stati effettuati su plantule germinate su piccoli vasi di 5 cm di diametro e di altezza di 7 cm utilizzando un comune substrato a base di torba. Alla comparsa dei cotiledoni e delle prime “foglie vere” le plantule sono state irrorate con una soluzione acquosa di oli essenziali (0, 10, 100 and $1000\ \text{mg L}^{-1}$). Il volume irrorato è stato standardizzato a $30\ \text{g m}^{-2}$, simulando una normale distribuzione di glifosate. La foto 1 sintetizza il protocollo sperimentale effettuato.

Nella tabella 1 sono illustrati i diversificati livelli di inibizione generati dalle più ricche di oli essenziali delle 20 specie testate (foto 2). Mentre l'*Amaranthus retroflexus* è stato fortemente inibito da tutti gli oli essenziali già alla dose minore ($10\ \mu\text{g L}^{-1}$) la *Setaria viridis* è risultata più tollerante a questa bassa concentrazione. Tuttavia anche questa specie ha mostrato una totale inibizione della germinazione a dosi superiori di oli essenziali ($100\ \mu\text{g L}^{-1}$) ottenuti da *Artemisia annua* e *Xanthium strumarium* mostrando una ottima performance agronomica di questi fitochimici da *Achillea millefolium*, *Anthemis cotula* e *Artemisia verlotiorum* riducendo la germinazione della *Setaria viridis* intorno a circa il 20%. Sovrapponendo la potenzialità di resa in oli essenziali (dati non mostrati) e l'attività di inibizione germinativa i risultati più promettenti sono stati ottenuti dalle 2 specie di *Artemisia* e da *Xanthium strumarium*.

Nella tabella 2 è illustrata l'attività fitocida delle diverse dosi di oli essenziali ottenuti dalle 5 asteracee più promettenti (in relazione ai sopraccitati test *in vitro*) sulle 2 malerbe irrorate a 2 diversi stadi fenologici. Come si può osservare l'effetto delle 2 specie del genere botanico *Artemisia* e lo *Xanthium*

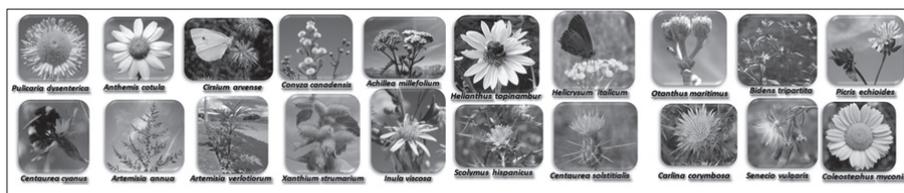


Foto 2 Elenco delle 20 specie utilizzate come potenziale risorsa di oli essenziali utilizzabili come erbicida naturale

WEED	PLANT SOURCE OF ESSENTIAL OIL	CONCENTRATION ($\mu\text{g L}^{-1}$)		
		0	10	100
Germination %				
<i>Amaranthus retroflexus</i>	<i>Achillea millefolium</i>		6 ± 0.5	0
	<i>Anthemis cotula</i>		15 ± 0.9	5 ± 0.3
	<i>Artemisia annua</i>		0	0
	<i>Artemisia verlotiorum</i>		0	0
	<i>Bidens tripartita</i>	85 ± 6.5	22 ± 2.2	7 ± 0.5
	<i>Helianthus tuberosus</i>		24 ± 2.4	0
	<i>Helicrysum italicum</i>		19 ± 1.8	0
	<i>Inula viscosa</i>		18 ± 1.6	0
	<i>Othanthus maritimus</i>		5 ± 0.4	0
	<i>Xanthium strumarium</i>		0	0
<i>Setaria viridis</i>	<i>Achillea millefolium</i>		49 ± 4.4	18 ± 1.5
	<i>Anthemis cotula</i>		51 ± 4.9	21 ± 1.8
	<i>Artemisia annua</i>		32 ± 3.3	0
	<i>Artemisia verlotiorum</i>		35 ± 3.5	19 ± 1.2
	<i>Bidens tripartita</i>	77 ± 5.6	74 ± 5.6	50 ± 4.2
	<i>Helianthus tuberosus</i>		72 ± 5.3	55 ± 4.5
	<i>Helicrysum italicum</i>		59 ± 5.2	35 ± 3.1
	<i>Inula viscosa</i>		60 ± 5.6	33 ± 3.0
	<i>Othanthus maritimus</i>		55 ± 5.1	24 ± 2.1
	<i>Xanthium strumarium</i>		22 ± 1.8	0

Tab. 1 Inibizione della germinazione delle 2 infestanti testate incubate in presenza di dosi crescenti di oli essenziali ottenuti da 10 diverse asteracee spontanee

strumarium sono risultate decisamente apprezzabili già alle dosi più basse nel caso dello stadio fenologico cotiledonare anche se talvolta seguito da resilienza. Alla dose maggiore l'effetto è stato "risolutivo" (privo di resilienza) anche nel caso dello stadio fenologico della "terza foglia vera. È evidente l'azione erbicida di contatto la cui resilienza risulta in funzione sia della dose distribuita che dello stadio fenologico delle malerbe testate.

Tale efficacia di prodotti naturali estratti da specie spontanee desta ottimi-

INFESTANTI	SPECIE DA CUI SONO STATI ESTRATTI GLI OLI ESSENZIALI	STADIO FENOLOGICO	CONCENTRAZIONE (MG L ⁻¹)		
			10	100	1000
<i>Amaranthus retroflexus</i>	<i>Achillea millefolium</i>	Cotiledonare	•	••	•••
	<i>Artemisia annua</i>		••	•••	•••
	<i>Artemisia verlotiorum</i>		•	•••	•••
	<i>Othanthus maritimus</i>		•	•••	•••
	<i>Xanthium strumarium</i>		••	•••	•••
	<i>Achillea millefolium</i>	Terza foglia vera	•	••	•••
	<i>Artemisia annua</i>		•	••	•••
	<i>Artemisia verlotiorum</i>		•	••	•••
	<i>Othanthus maritimus</i>		•	••	•••
	<i>Xanthium strumarium</i>		•	•••	•••
<i>Setaria viridis</i>	<i>Achillea millefolium</i>	Cotiledonare	•	••	•••
	<i>Artemisia annua</i>		••	•••	•••
	<i>Artemisia verlotiorum</i>		•	••	•••
	<i>Othanthus maritimus</i>		•	••	•••
	<i>Xanthium strumarium</i>		••	•••	•••
	<i>Achillea millefolium</i>	Terza foglia vera	•	••	•••
	<i>Artemisia annua</i>		•	••	•••
	<i>Artemisia verlotiorum</i>		•	••	•••
	<i>Othanthus maritimus</i>		•	••	•••
	<i>Xanthium strumarium</i>		••	•••	•••

Tossicità: •= assente o trascurabile, ••= evidente ma seguita da resilienza, •••= totale.

Tab. 2 Attività fitocida dei 10 diversi oli essenziali testati in “post-emergenza” sulle 2 malerbe selezionate

smo non solamente sotto un profilo agronomico per la sopraccitata efficacia agronomica ma anche dal punto di vista economico. Si tratta infatti di piante “rustiche” la cui eventuale coltivazione presuppone scarse esigenze agronomiche e quindi costi di produzione sostenibili. Non richiedono, ad esempio, particolari spese sia sotto un profilo idrico che nutrizionale.

La reale applicazione di questi prodotti potrà essere effettuata non solo per il controllo delle infestanti in sistemi colturali biologici ma anche per la gestione della flora infestante dell’ecosistema urbano dal momento che in questo caso la presenza dell’uomo assume un ruolo cruciale per poter sostituire questi prodotti a quelli di origine sintetica oggi ancora largamente considerati “convenzionali”. Un ulteriore settore di applicazione potrà essere quello di una progressiva sostituzione del glifosate, nonostante la sua spiccata efficacia fitocida e il suo basso costo, nell’attività vivaistica. L’idea di sostituire e/o affiancare nuovi prodotti naturali a questo indiscusso “leader” è infatti una delle sfide agronomiche dell’immediato futuro.

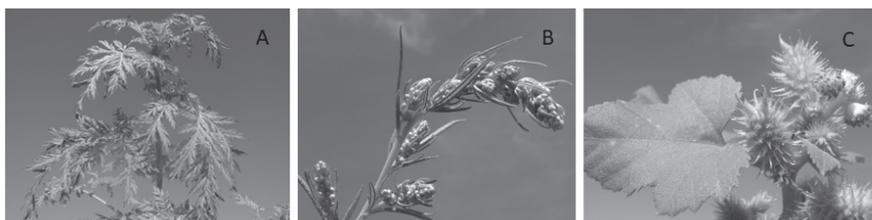


Foto 3 *Asteraceae* risultate più promettenti: *Artemisia annua* (A), *Artemisia verlotiorum* (B), *Xanthium strumarium* (C)

I risultati ottenuti appaiono quindi promettenti per poter ipotizzare una filiera agronomica dedicata alla coltivazione di specie erbacee per la produzione di erbicidi naturali. È sorprendente la possibilità di eliminare “erbacce” utilizzando altre “erbacce” (foto 3). D'altra parte la spiccata rusticità di queste specie spontanee garantisce una loro produttività in biomassa e oli essenziali anche a bassi input agronomici. In conclusione la vasta gamma di informazioni sui meccanismi di allelopatia, scientificamente molto interessanti trovano una reale applicazione come erbicidi naturali di post-emergenza. In sintesi gli oli essenziali sono una concreta opportunità di innovazione agronomica dedicata alla gestione della flora spontanea sia dei vari agroecosistemi che dell'ecosistema urbano. A tal fine sono in corso ulteriori sperimentazioni indirizzate a valutare l'effettiva applicabilità degli oli essenziali come erbicida naturale cercando di validare non solamente il risultato agronomico di tali prodotti ma anche la loro sostenibilità economica.

LAVORI CITATI

BENVENUTI S., CIONI P.L., FLAMINI G. & PARDOSSI A. (2017): *Weeds for weed control: Asteraceae essential oils as natural herbicides*, «Weed research», 57 (5), pp. 342-353.

Elenco degli autori

Alma A., 90
Alpi A., 38, 42, 77
Amato A., 261
Aquilani C., 269
Argenti G., 269

Barbanti L., 69
Baruzzi G., 130, 136
Bassi D., 163
Battista Tornielli G., 261
Bellini E., 269
Benelli C., 170
Benvenuti S., 375
Bevivino A., 357
Bianchi D., 255
Bianco L., 109
Bile G., 156, 303
Bizzotto M., 279
Boccacci P., 233
Botti S., 94
Bozzi R., 15, 269
Brancadoro L., 255

Campagna G., 69
Capocasa F., 152
Caracciolo G., 130
Carcea M., 223
Cardoni M., 94
Caruso M., 141
Caruso P., 141
Cattivelli L., 33

Chiari G., 202
Cioni P.L., 375
Cipriani G., 139, 258
Cirilli M., 163
Colombo M., 98
Confessore A., 269
Cutuli M., 144

Dal Cortivo C., 25
Dalla Costa L., 127
De Carlo A., 170
De Lorenzis G., 255
De Mori G., 139
Dibari C., 269
Di Gennaro S. F., 239
Di Marco S., 245
D'Imperio M., 226
D'Inca E., 261
Di Serio F., 87

Failla O., 255
Ferrero A., 49, 54
Firrao G., 104
Flamini G., 375
Foschi S., 163
Frusciante L., 156, 303

Gambino G., 233
Garosi C., 284
Gazza L., 33
Gerbi V., 115

- Giovannini D., 144, 147
 Gonella E., 90
 Grassi C., 166

 Lambardi M., 170
 Lante A., 73
 Licciardello C., 141
 Lucchi A., 250

 Malnoy M., 127
 Maltoni M. L., 136, 147
 Mancini M., 15, 166
 Mannini P., 202
 Marangoni B., 313
 Marconi E., 223
 Margheriti E., 213
 Marinello F., 195
 Masiero S., 98
 Mastrorelli M., 342
 Matese A., 239
 Mazzoncini M., 375
 Melis P., 101
 Messeri A., 15
 Mezzetti B., 101, 152
 Monarca D., 181
 Moriondo M., 189, 269
 Mosca G., 25, 38, 42, 69, 73, 77, 319
 Mugnai L., 245

 Nannucci L., 269
 Navarro B., 87
 Nuti M., 327

 Orlandini S., 15, 166

 Padovan G., 269
 Paffetti D., 284
 Pagliai M., 342
 Pagliarani C., 233
 Pancaldi M., 94
 Parrini S., 15
 Perrone I., 233
 Pesaresi P., 98
 Peterlunger E., 258
 Pezzotti M., 261

 Piazza S., 127
 Piccarolo P., 123, 181
 Pietrella M., 136
 Piovan D., 38, 42
 Polverari A., 150
 Pompili V., 127
 Pozzi A., 353
 Pugliese C., 269

 Ranalli P., 293
 Ratti C., 94
 Rossi L., 357
 Rossini L., 163
 Rubino L., 87
 Russo G., 141

 Santamaria P., 226
 Sartori L., 195
 Sbrighi P., 136
 Scienza A., 255
 Serio F., 226
 Sirri S., 130, 144, 147
 Sirtori F., 15
 Sonnino A., 357
 Staglianò N., 269
 Stevanato P., 69

 Tessari P., 73
 Testolin R., 139, 258
 Toscano P., 207
 Travaglini D., 284
 Troggio M., 109

 Vaccari F. P., 353
 Vamerati T., 25, 319
 Vandelle E., 150
 Velasco R., 109
 Vettori C., 284
 Vezzulli S., 98
 Vieri M., 123
 Vincenzini M., 9

 Zenoni S., 261

Finito di stampare in Firenze
presso la tipografia editrice Polistampa
nell'aprile 2021