



Associazione
Italiana
Società
Scientifiche
Agrarie

ISBN: 978-88-945925-2-8

I QUADERNI DI AISSA

ASSOCIAZIONE ITALIANA SOCIETÀ SCIENTIFICHE AGRARIE

Atti del XVIII Convegno AISSA

Il contributo della ricerca italiana all'intensificazione
sostenibile in agricoltura

Milano, 18-19 febbraio 2021

Volume 3, 2022

Su iniziativa del Consiglio di Presidenza dell'Associazione si è dato vita al progetto editoriale "I Quaderni di AISSA". L'obiettivo è quello di raccogliere e valorizzare i contributi presentati ai convegni di AISSA, al fine di testimoniare il contributo all'avanzamento della scienza in ambito agrario, forestale e alimentare.

Questo volume è scaricabile dal sito: <https://www.aissa.it/home.php>

ISBN: 978-88-945925-2-8

Copyright: Associazione Italiana delle Società Scientifiche Agrarie – AISSA, 2021



Facoltà di Agraria Pabozzina su via Celoria

W. Mazzoni, 1900

I QUADERNI DI



AISSA



ASSOCIAZIONE ITALIANA SOCIETÀ SCIENTIFICHE AGRARIE

Atti del XVIII Convegno AISSA

*In occasione della celebrazione dei 150 anni dalla fondazione
la Facoltà di Scienze Agrarie e Alimentari di Milano e con la partecipazione della
Conferenza Nazionale per la Didattica Universitaria di AG.R.A.R.I.A.*

**Il contributo della ricerca italiana all'intensificazione sostenibile in
agricoltura**

Milano, 18-19 febbraio 2021

Volume 3, 2022

a cura di: Luca Simone Cocolin e Massimo Tagliavini



Associazione
Italiana
Società
Scientifiche
Agrarie



**UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI MILANO**

Indice

<i>Prefazione</i>	1
<i>Saluti</i>	2
<i>Dalla intensificazione sostenibile alla transizione ecologica. La visione di AISSA sul ruolo della ricerca in ambito agrario</i>	3
Viaggi D., Alma A., Astolfi S., Bonifacio E., Borin M., Casini L., Casiraghi E., Cocolin L., Corti G., Ferrero A., Freppaz M., Malorgio G., Marchetti M., Marconi E., Monarca D., Pecorino B., Povellato A., Pulina G., Reverberi M., Romanazzi G., Roversi P., Spanna F., Pè E., Tagliavini M., Vacchiano G., Viti C.	
<i>Intensificazione sostenibile nella filiera del pioppo</i>	11
Vacchiano G., Ancona V., Badiani M., Chiarabaglio P., Faccoli M., Fini A., Minotta G., Marchetti M., Nervo G., Paris P., Proto A., Sperandio G., Zanuttini R., Zimbalatti G.	
<i>Sfide e opportunità offerte dall'intensificazione sostenibile nella filiera del riso</i>	22
Ferrero A., Cavalca L., Celi L., Fornara F., Magnaghi R., Romani M., Sacchi G.A., Valè G.	
<i>Intensificazione sostenibile nella filiera suinicola</i>	34
Galassi G., Bechini L., Bontempo V., Corino C., Dinuccio E., Rebucci R.; Provolo G.	
<i>Intensificazione sostenibile nella filiera vite-vino</i>	51
Failla O., Gerbi V., Balducci A., Bonfante A., Borin S., Boselli E., Budroni M., Cardinale M., Cocolin L., Foschino R., Giacosa S., Longo E., Lucchi A., Mannazzu I., Mencarelli F., Montali M., Parpinello G.P., Poggesi S., Priori S., Ragni L., Rantsiou K., Ricci A., Rolle L., Romano P., Romanazzi G., Serantoni M., Ugliano M., Vasileios E., Versari A., Vigentini I., Vieri M., Zenoni S.	
<i>Intensificazione sostenibile nella filiera del pomodoro da industria</i>	78
Dalla Rosa M., Gatta G., Giuliani M.M., Gagliardi A., Falsone G., Marzadori C., De Luca F., Troccoli A., Fanelli E., Cardi T., Monarca D., Moscetti R., Mazzoni E., Severini C.	

Prefazione

Questo volume riporta gli atti del XVIII convegno AISSA svoltosi a Milano nel febbraio 2021. Analogamente agli atti del Convegno di Reggio Calabria del 2020 (vol. 1 dei Quaderni di AISSA), in cui sono stati affrontati sistemi produttivi vegetali e animali tipici del Sud Italia e delle Isole maggiori, gli autori dei testi di questo terzo volume dei “Quaderni”, hanno analizzato gli aspetti strutturali dei sistemi produttivi di maggiore interesse per gli areali del Nord Italia, evidenziando le criticità e proponendo innovazioni per il loro superamento. Si tratta sempre di lavori collegiali, nel pieno spirito di AISSA, che hanno beneficiato delle molte competenze che caratterizzano la nostra Associazione. Entrambi i numeri sono quindi direttamente collegati al volume pubblicato da AISSA nel 2019 dal titolo “Intensificazione sostenibile, strumento per lo sviluppo dell’agricoltura italiana”, in cui sono stati tracciati gli indirizzi per uno sviluppo delle tante agricolture presenti nel nostro Paese. In un’agricoltura come quella italiana, intensificare in modo sostenibile, lo dobbiamo qui ribadire, significa quasi sempre introdurre innovazioni capaci di far fronte alle sfide che il sistema agricolo dovrà affrontare. Se questo volume fosse uscito solo alcuni mesi orsono, avremmo parlato “solo” delle sfide del cambiamento climatico e di quelle che l’implementazione della strategia UE *Farm to Fork* imporranno ai sistemi agricoli. In questo scenario già complesso si è inserita purtroppo la guerra in Ucraina, che ha effetti catastrofici sul popolo Ucraino e ricadute più ampie, anche sui sistemi agrari e alimentari dei Paesi in via di sviluppo, ed in parte anche sul nostro. Nella Lettera Aperta alla Ministra delle Politiche Agricole, Alimentari e Forestali pubblicata nel 2020 (Sole 24ore, 2 agosto 2020), AISSA aveva già sottolineato le priorità del settore agrario nazionale, tra cui, la centralità della produzione primaria, cosa che nel momento in cui scriviamo, è sotto gli occhi di tutti.

Il volume si apre con il documento AISSA dal titolo “Dalla intensificazione sostenibile alla transizione ecologica. La visione di AISSA sul ruolo della ricerca in ambito agrario”, frutto di un lavoro collegiale che ha preso l’avvio dalla tavola rotonda svoltasi durante il XVIII Convegno AISSA su questo tema. Vi hanno lavorato molti esperti, sotto il coordinamento del prof. Davide Viaggi. Il documento, sottoscritto da tutte le 22 Società Scientifiche di AISSA, intende illustrare la visione di AISSA sulle macro-priorità e sulle modalità di attuazione della ricerca. Vuole inoltre discutere i legami tra ricerca e formazione/didattica. Il documento intende inserirsi in un percorso di crescente collaborazione tra il mondo scientifico, gli operatori del settore, i decisori politici e la società in genere, al fine di garantire la capacità dell’agricoltura nazionale, nella sua accezione più ampia che include anche le foreste ed il sistema alimentare, di svolgere il proprio ruolo.

Desideriamo ringraziare l’Università di Milano ed in particolare la Presidenza del Comitato di Direzione della Facoltà di Scienze Agrarie e Alimentari per l’eccellente organizzazione. Siamo felici che abbiano associato al convegno AISSA la celebrazione dei 150 anni dalla fondazione della Regia Scuola Superiore di Agricoltura di Milano.

Un grazie molto sentito ai relatori ed agli Autori dei lavori riportati nel volume.

Maggio 2022

Il Consiglio di Presidenza di AISSA

Saluti da parte degli Organizzatori del Convegno

La Facoltà di Scienze Agrarie e Alimentari di Milano ha ospitato il 18 e 19 febbraio 2021, in modalità mista, il XVIII Convegno AISSA, con la partecipazione della Conferenza Nazionale per la Didattica Universitaria di AG.R.A.R.I.A. e in collaborazione con la Società Agraria di Lombardia e il Museo Lombardo di Storia dell'Agricoltura.

Questo importante evento di confronto e di formazione che AISSA promuove da anni è stata l'ottima occasione per la celebrazione dei 150 anni dalla fondazione della Regia Scuola Superiore di Agricoltura di Milano, che ha segnato l'inizio delle attività didattiche superiori e di ricerca, che successivamente hanno portato alla istituzione della Facoltà.

La Regia Scuola Superiore di Agricoltura di Milano è stata istituita il 10 aprile 1870 con regio decreto n. 5633, e grazie alle proposte del Prof. Gaetano Cantoni l'attività didattica consentiva, al termine di tre anni di studi, di conseguire la laurea in Scienze Agrarie. Questa laurea, istituita in Italia dopo quella di Pisa nel 1843, è stata fonte di diffusione in tutto il Paese della cultura tecnico-scientifica delle Scienze Agrarie, e già con i primi laureati l'agricoltura italiana è stata trasportata nella modernità.

Oltre alla ricerca, che ha portato a migliaia di pubblicazioni in riviste internazionali, un'altra iniziativa pionieristica che è nata a Milano nell'anno accademico 1963/64 ed è stata ampiamente seguita successivamente in tutto il Paese, è stata l'istituzione del Corso di Laurea in Scienze delle Preparazioni Alimentari (oggi Scienze e Tecnologie Alimentari).

Oggi la Facoltà di Scienze Agrarie e Alimentari di Milano ha attivi 16 corsi di laurea, di cui 7 triennali (che contano circa 1.000 nuovi immatricolati all'anno) che coprono tutte le esigenze di formazione superiore nel campo delle scienze agrarie ed alimentari, con particolare attenzione alle innovazioni di processo e di prodotto, incluse le relative relazioni con gli aspetti ambientali e la sostenibilità delle filiere. I 9 corsi di laurea magistrali rappresentano il proseguimento e l'ampliamento culturale e professionale delle lauree triennali.

La realizzazione del Convegno AISSA a Milano è stato un altro dei traguardi raggiunti dalla Facoltà, che quindi ringrazia tutti gli organizzatori e contributori del convegno e anche tutto il personale e gli studenti che in questi anni hanno dedicato forze, impegno, intelligenza e dedizione nel proseguimento delle attività didattiche e di ricerca.

Alberto Tamburini
Presidente del Comitato di Direzione della
Facoltà di Scienze Agrarie e Alimentari Milano

Dalla intensificazione sostenibile alla transizione ecologica. La visione di AISSA sul ruolo della ricerca in ambito agrario

Viaggi D.¹, Alma A.², Astolfi S.³, Bonifacio E.⁴, Borin M.⁵, Casini L.⁶, Casiraghi E.⁷, Cocolin L.⁸, Corti G.⁹, Ferrero A.¹⁰, Freppaz M.¹¹, Malorgio G.¹², Marchetti M.¹³, Marconi E.¹⁴, Monarca D.¹⁵, Pecorino B.¹⁶, Povellato A.¹⁷, Pulina G.¹⁸, Reverberi M.¹⁹, Romanazzi G.²⁰, Roversi P.²¹, Spanna F.²², Pè E.²³, Tagliavini M.²⁴, Vacchiano G.²⁵, Viti C.²⁶

¹Università di Bologna, Consiglio di Presidenza di AISSA

²Università degli Studi di Torino, SEI-SEA

³Università degli Studi della Tuscia, SICA

⁴Università degli Studi di Torino, SIPE

⁵Università degli Studi di Padova, SIA

⁶Università degli Studi di Firenze, CESET

⁷Università degli Studi di Milano, SISTAL

⁸Università degli Studi di Torino, Consiglio di Presidenza di AISSA

⁹Università Politecnica delle Marche, Consiglio di Presidenza di AISSA

¹⁰Università degli Studi di Torino, SIRFI

¹¹Università degli Studi di Torino, SISS

¹²Università di Bologna, SIDEA

¹³Università del Molise, SISEF

¹⁴Università del Molise, AISTEC

¹⁵Università degli Studi della Tuscia, AIIA

¹⁶Università degli Studi di Catania, SIEA

¹⁷Consiglio per la Ricerca in Agricoltura e l'Analisi dell'Economia Agraria (CREA), AIEAA

¹⁸Università degli Studi di Sassari, ASPA

¹⁹Università di Roma Sapienza, SIPaV

²⁰Università Politecnica delle Marche, AIPP

²¹Consiglio per la Ricerca in Agricoltura e l'Analisi dell'Economia Agraria (CREA), SIN

²²Regione Piemonte, AIAM

²³Scuola Superiore Sant'Anna, SIGA

²⁴Liberà Università di Bolzano, Consiglio di Presidenza di AISSA, SOI

²⁵Università degli Studi di Milano, SISEF

²⁶Università degli studi di Firenze, SIMTREA

Premessa e obiettivo

L'Associazione Italiana delle Società Scientifiche Agrarie (AISSA, www.aissa.it) riunisce oltre duemila professori e ricercatori universitari, ricercatori del CREA, del CNR e di altri istituti di ricerca, attivi in tutti i settori delle scienze agrarie, alimentari e forestali. Questo documento intende illustrare la visione di AISSA sulle macro-priorità e sulle modalità di attuazione della ricerca. Vuole inoltre discutere i legami tra ricerca e formazione/didattica.-Il documento intende inserirsi in un percorso di crescente collaborazione tra il mondo scientifico, gli operatori del settore, i decisori politici e la società in genere, al fine di garantire la capacità

dell'agricoltura nazionale, nella sua accezione più ampia che include anche le foreste ed il sistema alimentare, di svolgere il proprio ruolo.

Il difficile periodo vissuto dal nostro Paese, anche come conseguenza della pandemia da Covid-19, esplosa dopo circa tre lustri nei quali si sono alternati momenti di crisi ed euforia economica, ha rafforzato negli italiani la consapevolezza dell'importanza del sistema agroalimentare. Questo periodo sembra aver anche contribuito a ridare alla Scienza il ruolo che essa dovrebbe avere in un Paese moderno, ossia quello di fornire alla Politica e ai cittadini pareri competenti slegati da interessi di parte e contingenti, e di proporre scenari basati su evidenze scientifiche. Questi processi avvengono sullo sfondo dei grandi cambiamenti del contesto, con la crisi climatica, il declino della biodiversità e la globalizzazione, che richiedono risposte urgenti e radicali e che, al contempo, sollecitano una riflessione sul ruolo e sulle prospettive della ricerca in ambito agrario.

Tra i riferimenti che incorporano queste esigenze, si ricordano da un lato le nuove prospettive di *policy*, quali le istanze di carattere strategico a livello mondiale (obiettivi di sviluppo sostenibile -*Sustainable Development Goals*) ed a livello UE (come il *Green Deal* Europeo e l'avvio di *Horizon Europe*), nonché quelle più specifiche del settore, quali la strategia Farm to Fork e la riforma della Politica Agricola Comune (PAC). Dall'altro, a livello nazionale, ci troviamo nel percorso di applicazione del Programma Nazionale della Ricerca (PNR), ma soprattutto nelle fasi di implementazione del Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza (PNRR). Queste azioni avvengono sullo sfondo della discussione sul sistema universitario e sul relativo sistema di incentivi, come le procedure di valutazione della ricerca (Valutazione della Qualità della Ricerca, VQR), della carriera (Abilitazione Scientifica nazionale, ASN), e la possibile revisione dei saperi e delle classi di laurea.

Riteniamo importante cogliere quest'occasione per riflettere sugli indirizzi del sistema agrario nazionale per il prossimo futuro e sul ruolo della ricerca in tale ambito, nonché sul ruolo delle associazioni scientifiche.

Obiettivi e contributi della ricerca

Sostenibilità e transizione ecologica in un'ottica di sistema

Il mondo agricolo ha fatto negli ultimi anni grandi progressi nel minimizzare gli effetti negativi dei processi produttivi sull'ambiente e nel migliorare la salubrità dei prodotti, contribuendo al contempo all'erogazione di servizi ecosistemici fondamentali per la tutela del territorio e la valorizzazione del paesaggio rurale. Si pensi ad esempio alle riduzioni degli agrofarmaci impiegati e ai bassissimi livelli di contaminazione da residui sulle derrate nazionali rispetto a quelli degli altri Paesi europei ed ancor più extra-europei. Questi sforzi raramente trovano spazio nella narrazione che molti mezzi di comunicazione veicolano quando parlano dei sistemi agricoli, troppo spesso lontana dalla realtà. E' infatti ancora evidente la difficoltà ad affrontare in modo coerente e sistematico la sfida della sostenibilità economica, sociale ed ecologica, i cui obiettivi sono spesso in contraddizione. La strada da percorrere per giungere ad elevati livelli di sostenibilità è, in molti contesti, ancora lunga, ma deve essere intrapresa utilizzando tutte le tecnologie funzionali a questo scopo, quali la produzione agricola integrata o biologica e la selvicoltura vicina alla natura, valutandole sulla base di indicatori oggettivi e considerando il sistema agrario nel suo insieme. Diversi approcci alla produzione potranno così mutuare vicendevolmente le pratiche virtuose che le contraddistinguono, anche per tener conto della diversità del territorio italiano, dei suoi ambienti pedoclimatici e di tutte le dimensioni del

concetto di sostenibilità. In prospettiva, sostenibilità, resilienza e circolarità diventeranno sempre più caratterizzanti e saranno sempre più legate all'innovazione. È necessario tenere presente la diversità delle forme di agricoltura del nostro Paese sviluppando e adattando le tecnologie più appropriate ad ogni contesto, dall'agroecologia all'agricoltura di precisione, utilizzando anche le potenzialità delle biotecnologie sostenibili. La comunità scientifica deve costituire l'elemento trainante per un'agricoltura sostenibile e una transizione ecologica basate sulla diversità degli approcci e su un atteggiamento proattivo, puntando alla sostenibilità basata non solo sull'innovazione tecnico-scientifica ma anche sociale. Tra le opportunità vanno sottolineati il contributo dell'agricoltura per la mitigazione e l'adattamento alla crisi climatica, attraverso la gestione degli stock di carbonio nelle piante, nel suolo (fino al *carbon farming*) e nei prodotti legnosi finiti a ciclo di vita medio-lungo, e il contributo del settore alla produzione di energia pulita oltre che il suo ruolo cruciale nel mantenimento della biodiversità (a livello genetico, di specie, popolazioni ed ecosistemi) e del paesaggio.

Queste istanze vanno calate in una visione sistemica sia dei sistemi agricoli e alimentari, sia di quelli forestali e del contesto più ampio della bioeconomia, non solo in una visione locale o europea, ma anche globale, dove le disequaglianze e le diversità ripetono su grande scala i disequilibri territoriali che ben conosciamo tra città e campagna, pianura e montagna. Non da ultimo, è necessario affrontare il tema dell'abbandono delle aree interne e marginali, nonché delle fragilità ecologiche e delle comunità rurali. A titolo di esempio si stima che in Italia negli ultimi 50 anni si siano persi circa 5 milioni di ettari di superficie agricola utilizzata (circa il 30%), mentre nel 2016 il rapporto giovani-anziani era soltanto di sei su 100. In vaste zone del nostro territorio, principalmente collinari e montane, l'agricoltura è destinata a scomparire nel giro di pochi decenni senza interventi strutturali per migliorare le condizioni di vita, la quantità e la qualità dei servizi di base, tenendo conto anche di altri settori quali i trasporti, la cultura e il tempo libero. Lo studio delle condizioni che impediscono lo sviluppo di molte aree rurali e degli interventi per renderle attraenti per le nuove generazioni rappresenta un settore di ricerca essenziale per la realizzazione di un concreto sviluppo sostenibile del nostro territorio rurale.

Centralità dell'innovazione

Il nuovo *Green Deal* Europeo identifica una serie di target ambientali e sociali che possono essere raggiunti solo attraverso l'innovazione se si vuole evitare una ulteriore perdita di competitività di un sistema agricolo già fortemente dipendente dagli aiuti pubblici. Questo è evidente nella Strategia Forestale Europea (ripresa e anticipata da quella nazionale in molti punti), e nella *Farm to Fork*, nella quale si propongono ambiziosi traguardi, tra cui il dimezzamento dell'uso degli agrofarmaci più pericolosi, il raggiungimento del 25% delle superfici a biologico e il dimezzamento degli sprechi alimentari. Il sistema agricolo nazionale soffre di un divario tecnologico nei confronti dei Paesi europei con i quali dobbiamo confrontarci, e con molti altri Paesi non-europei, che si riflette inevitabilmente in una minore competitività di molte nostre produzioni, sia sui mercati interni sia su quelli internazionali. L'innovazione e la ricerca, pur con risorse limitate, hanno aiutato l'agricoltura italiana a mantenere, almeno in parte, il suo livello produttivo, ma è chiara la necessità di potenziare tale ruolo. I sistemi produttivi nazionali hanno infatti estremo bisogno di innovazioni di processo e di prodotto, nonché di nuove modalità di organizzazione delle filiere, che consentano di ridurre i costi di produzione e l'impatto ambientale, e di salvaguardare il territorio. Per diventare più sostenibili, i sistemi agricoli, che già stanno affrontando pressioni interne ed esterne, devono adottare nuove idee e approcci innovativi ed intensificare il livello di imprenditorialità per diventare più redditizi. Le imprese agricole, alimentari e delle filiere forestali necessitano di

una prospettiva innovativa se vogliono sviluppare e attuare nuove strategie di creazione di valore, quali ad esempio nuovi modelli di business basati sulla co-gestione, associazionismo, cooperazione e coordinamento tra imprese, con un approccio interdisciplinare e sistemico.

Il contesto produttivo nazionale, ricchissimo di varietà e razze autoctone, potrebbe ad esempio beneficiare meglio di altri dell'avvento delle nuove biotecnologie. Le nuove tecnologie, attualmente sottoutilizzate, ma che potrebbero diventare fondamentali in prospettiva, sono numerose, in particolare negli ambiti della digitalizzazione, della genetica e delle scienze omiche, assistite da big data. Lo sviluppo di nuovi o migliorati sistemi agrari che riescano ad armonizzare e rendere digitalmente fruibili le conoscenze biologiche, omiche e territoriali (pedoclima, acqua disponibile, energia, risorse forestali e ambientali) è il faro verso cui muovere, anche allo scopo di preservare paesaggio e biodiversità.

Servono dunque più conoscenza e innovazione per ettaro, che permettano, senza un ritorno a forme di agricoltura del passato, di impegnarsi per sostenere e valorizzare le tipicità di processo e prodotto della nostra agricoltura. Per garantire competitività a lungo termine è anche necessario alimentare l'innovazione in un'ottica di sistema: dalla produzione primaria, alla trasformazione, fino al consumatore finale, secondo un approccio di bio-economia circolare. Appare strategico avvalersi della ricerca per recuperare la prima trasformazione dei prodotti legnosi, innovare le fasi di trasformazione degli alimenti e, più in generale, di tutta la produzione alimentare italiana, caratterizzata da molte eccellenze, ma anche assai eterogenea. È infine necessaria la ricerca per rendere sempre più tracciabili, riconoscibili e difendibili i prodotti d'eccellenza, facendo sistema nel contrasto ai tristemente noti casi di *Italian Sounding*.

Competitività della produzione primaria nazionale

A fronte delle sfide di questo periodo storico, l'agricoltura italiana e quella mondiale stanno subendo cambiamenti radicali, sia dal punto di vista tecnologico, sia dal punto di vista sociale ed organizzativo.

La produzione nazionale di derrate alimentari si è sensibilmente ridotta negli ultimi decenni, anche perché la superficie agraria si è fortemente contratta e l'aumento delle rese non ha compensato tale calo in alcune colture. Si pensi ad esempio all'area destinata alla coltivazione dei cereali che si è ridotta di circa 50.000 ettari all'anno a partire dagli anni Sessanta. Siamo pertanto sempre più dipendenti da molte materie prime di importazione (ad esempio carne, cereali, latte, legname, olio). Nello stesso tempo, al forte aumento delle superfici e della biomassa forestale non ha corrisposto un tasso di prelievo adeguato (che ci vede quasi ultimi in Europa) pur nell'aumento continuo della richiesta di materia prima legnosa da parte della nostra industria (l'import è arrivato all'80% del fabbisogno nazionale).

Sebbene le materie prime di importazione siano una risorsa importante per la nostra industria di trasformazione, talvolta esse derivano, nei paesi di origine, da processi produttivi poco sostenibili dal punto di vista ecologico e sociale. Pur in un mercato aperto e tenendo conto della forza di alcuni settori (agroalimentari e arredo in primis) in termini di export, occorre quindi restituire centralità alla produzione primaria nazionale, alle colture, all'allevamento e alla selvicoltura, puntando sulla ricerca di forme organizzative e di comunicazione che valorizzino l'origine, la sostenibilità ambientale del processo produttivo e la qualità dei prodotti, che insieme alle competenze professionali locali esprimono l'eccellenza del *made in Italy* nel mondo.

L'Italia ha potenzialità inespresse legate alla varietà delle proprie agricolture e alla loro biodiversità, caratterizzate da una grande diversificazione di storia, attività, contesti ambientali. Queste caratteristiche, se da un lato contribuiscono alla frammentazione strutturale e alla

generazione di obiettivi contrapposti tra diverse forme di agricoltura, dall'altro, se organizzate e gestite in maniera innovativa ed efficiente, potrebbero rappresentare una risorsa per il nostro paese.

È importante tenere conto anche di settori di nuovo interesse, quali quello delle foreste legato alle filiere bio-based, quello delle risorse marine, ancora in gran parte inesplorato, nonché quello delle nuove forme di energia e degli interventi di contrasto alla crisi climatica. L'integrazione di queste nuove opportunità di reddito non è scevra da conflitti e contraddizioni. In tal senso è importante che la ricerca contribuisca non solo identificando nuove soluzioni tecnologiche, ma anche sviluppando un'adeguata valutazione delle soluzioni proposte.

Le misure di supporto all'agricoltura, alla selvicoltura, alla zootecnia dovrebbero essere orientate alla competitività del settore, alla qualità dei prodotti, alla produzione complessiva nazionale e alla sostenibilità, promuovendo processi di innovazione adatti ai territori, non ultimi quelli finalizzati alla salvaguardia o all'aumento delle rese. Ai fini della competitività non si può prescindere da forme di riorganizzazione del sistema produttivo e di ricambio generazionale, uniti allo sviluppo di un orientamento al mercato da parte degli agricoltori e di un miglioramento delle condizioni di ripartizione del valore aggiunto lungo la filiera. Tra le misure da adottare, non devono essere dimenticate quelle per porre fine al consumo e alla degradazione del suolo, fermando cementificazione e frammentazione delle zone agricole, sempre residuali per la pianificazione urbanistica e infrastrutturale, ma anche aiutando a contrastare i fenomeni di abbandono o promuovendo la gestione degli ecosistemi al di fuori delle aree coltivate, scegliendo dove opportuno di promuovere la conservazione attiva della biodiversità, ad esempio in zone umide, aree aperte o dove sono presenti boschi vetusti. Attenzione particolare dovrebbe essere riservata anche al ruolo dei rimboschimenti e alle filiere collegate, prima tra tutte quella vivaistica, nel momento storico in cui anche a sproposito essi vengono strumentalizzati mediaticamente e manipolati come soluzione alla crisi socio ecologica che attraversiamo.

Infine, una rinnovata attenzione all'agricoltura e alle produzioni nazionali deve essere coniugata con la sostenibilità in altri parti del pianeta, visto l'impegno della UE in questo campo e dato l'evidente profilo etico ed ecologico sotteso dalla lotta alla deforestazione incorporata in tutti i settori produttivi di eccellenza della nostra manifattura (alimentare, tessile, del legno - e dei biocarburanti), soprattutto per i biomi tropicale e boreale, da cui provengono gran parte delle materie prime.

Legame con formazione, comunicazione e trasferimento delle conoscenze

Il contesto caratterizzato dal cambiamento e dall'innovazione richiede un salto di qualità nel trasferimento e nella condivisione delle conoscenze. Il contesto del trasferimento delle conoscenze non è più quello dell'assistenza tecnica tradizionale, peraltro fortemente indebolita in Italia, ma piuttosto dei nuovi approcci basati sugli *Agricultural Knowledge and Innovation systems* (AKIS). In tal senso è importante il coordinamento delle iniziative, purtroppo difficile in un contesto come quello italiano caratterizzato da sistemi di governo regionali e frammentazione dei centri di ricerca. Un punto centrale di questo cambiamento risiede nella necessità di nuove professionalità e nel miglioramento delle attuali, mettendole in condizioni di usare meglio le tecnologie disponibili oggi e in futuro, con un'evoluzione degli operatori dell'assistenza tecnica verso il ruolo di mediatori (*broker*) dell'innovazione. A tal fine, è necessario integrare solide competenze specifiche del settore con i concetti legati alle nuove tecnologie. Questo riguarda non solo i contenuti della formazione universitaria, ma anche le

sfere della formazione professionale e della formazione continua dei tecnici e dei professionisti. Oltre alle nozioni relative alle nuove tecnologie, sono rilevanti le modalità formative tese allo sviluppo delle competenze personali in tema di innovazione ed imprenditorialità, senza trascurare gli aspetti operativi, in un approccio all'apprendimento basato sull'azione e sull'esperienza. Non è da sottovalutare l'esigenza di formazione di base in grado di avvicinare più velocemente e più facilmente le nuove tecnologie. Nuovi percorsi di interazione tra università, industria e professionisti dovrebbero essere perseguiti traendo maggiore vantaggio dalle opportunità fornite dai tirocini curriculari, dai tirocini per tesi e dal dottorato industriale. Importante è il sostegno ai giovani che intraprendono la libera professione o operano nel campo dell'innovazione di processo o tecnologica. Altrettanto importante è una maggiore comunicazione e il potenziamento della terza missione, che devono andare nella direzione di un canale più diretto con l'agricoltura. La prospettiva è che l'innovazione parta dal dialogo, integrando esigenze e soluzioni fin dall'inizio del processo.

Modalità e strumenti di finanziamento e governance della ricerca

L'Italia è un paese con difficoltà croniche nell'attrazione di fondi europei e con scarsi e insufficienti finanziamenti nazionali alla ricerca. Sul piano dei finanziamenti europei, a fronte di miglioramenti delle performance in termini di progettualità, restano basse le percentuali di successo dei progetti presentati. Un tema di grande importanza è la capacità di inserire priorità di interesse nazionale o almeno regionale (mediterraneo) all'interno di progetti finanziati dai programmi quadro europei. In aggiunta, la configurazione del Cluster 6 di *Horizon Europe (Food, Bioeconomy, Natural Resources, Agriculture & Environment)* richiede la capacità di misurarsi con un più ampio contesto tematico in cui si fondono clima, risorse, bioeconomia e governance. L'introduzione del concetto di missione, in particolare con il finanziamento di una missione specifica sul suolo nell'ambito di *Horizon Europe*, enfatizza la necessità di orientare sempre più i progetti di ricerca verso conoscenze di ampio respiro ma funzionali ad obiettivi concreti e con un chiaro orizzonte temporale. D'altra parte, le sfide della ricerca di frontiera, lanciate da iniziative come l'ERC (*European Research Council*) e il FIS (Fondo Italiano per la Scienza), spingono anche il settore delle scienze agrarie ad interrogarsi sulla propria capacità di contribuire ad uno sviluppo delle conoscenze che vada oltre l'applicazione di soluzioni individuate da altri, in ambienti e condizioni economico-sociali differenti.

Il tema più urgente, tuttavia, è sicuramente quello della ricerca nazionale. In primo luogo, l'Italia è caratterizzata dalla difficoltà nel creare le condizioni adatte per attrarre e valorizzare i giovani ricercatori, che, pur ottenendo spesso risultati brillanti, finiscono spesso per svolgere la loro attività all'estero. Inoltre, i colleghi stranieri beneficiano di forti finanziamenti nazionali che li pongono in posizione di vantaggio sul piano internazionale.

È necessario quindi un forte investimento nazionale sulla ricerca agricola, a partire dalle priorità tematiche individuate dal PNR varato nel 2020. Mentre viene formulato questo documento, sono aperti i bandi del PNRR, che promette cospicue risorse con alcuni precisi indirizzi in linea con i macro-obiettivi della transizione ecologica ricordati in precedenza. Tenendo in particolare conto di tale opportunità, si ritengono necessarie modalità di finanziamento attraverso progetti di ampio respiro, non finanziamenti "spot". Questi interventi richiedono coordinamento e approccio pragmatico, ma anche visione nell'organizzazione delle risorse. Non ultimo, sono auspicabili tempi ragionevoli e bilanciate modalità di erogazione che consentano un uso virtuoso delle risorse per investimenti a medio-lungo termine.

Questi processi beneficerebbero di una maggiore permeabilità tra gli attori della ricerca, che potrebbe tradursi nella creazione di un nodo istituzionale di raccordo tra università ed enti di ricerca, capace di fare da baricentro della ricerca nazionale.

È importante anche una presa di responsabilità del sistema produttivo per indirizzare e sostenere la ricerca, in particolare collaborando a formulare insieme i problemi e gli obiettivi di prospettiva. Altrettanto importante è l'acquisizione di consapevolezza da parte della *governance* nazionale sul ruolo imprescindibile dell'evidenza scientifica solida, come base delle scelte politiche. In tal senso è auspicabile non solo una maggiore attenzione a livello nazionale, ma anche un maggior coordinamento fra le università, le regioni e gli altri enti locali. Un'opportunità operativa per affrontare alcuni di questi temi è il capitolo dell'AKIS nell'ambito della PAC 2023-2027, che appare finora avere ricevuto modeste attenzioni, sia in termini di risorse, sia come strumento strategico di raccordo tra ricerca, educazione e mondo produttivo.

Conclusioni e prospettive: ruolo delle università, dei centri di ricerca e delle associazioni scientifiche

La comunità scientifica nazionale che si occupa di Scienze agrarie alimentari e forestali, che AISSA rappresenta, è cosciente del periodo di cambiamento che stiamo attraversando in un contesto che si rivela sempre più complesso, ma anche ricco di opportunità.

AISSA intende cogliere queste opportunità, promuovendo un maggiore dialogo con gli attori del sistema nazionale e internazionale, a partire dai centri di ricerca (CREA, CNR), dalla rete dei dottori agronomi e forestali, dai tecnici e consulenti del settore agricolo, dagli agricoltori e loro associazioni, dai settori industriali che utilizzano risorse biologiche, nonché dai diversi livelli dall'amministrazione pubblica.

La risposta alle sfide attuali passa indubbiamente attraverso l'innovazione. Perché questo sia possibile, è necessario che il mondo della ricerca assuma un ruolo di leadership nel promuovere un cambiamento sostenibile, anticipando i temi rilevanti e promuovendo consapevolezza, conoscenza, formazione e azione sulle soluzioni più innovative ed efficaci.

Documento firmato dalle seguenti Società Scientifiche:

Associazione Italiana di Agrometeorologia, AIAM
Associazione Italiana di Economia Agraria e Applicata, AIEAA;
Associazione Italiana di Ingegneria Agraria, AIIA;
Associazione Italiana di Scienza e Tecnologia dei Cereali, AISTEC;
Associazione Italiana Protezione Piante, AIPP;
Associazione per la Scienza e le Produzioni Animali, ASPA;
Centro Studi di Estimo ed Economia Territoriale, CESET;
Sezione Entomologia Agraria della Società Entomologica Italiana, SEI-SEA;
Società di Ortoflorofrutticoltura Italiana, SOI;
Società Italiana della Scienza del Suolo, SISS;
Società Italiana di Agronomia, SIA;
Società Italiana di Chimica Agraria, SICA;
Società Italiana di Economia Agraria, SIDEA;
Società Italiana di Economia Agro-Alimentare, SIEA;
Società Italiana di Genetica Agraria, SIGA;
Società Italiana di Microbiologia Agroalimentare e Ambientale, SIMTREA;

Società Italiana di Nematologia, SIN;
Società Italiana di Patologia Vegetale, SIPaV
Società Italiana di Pedologia, SIPE;
Società Italiana di Scienze e Tecnologie Alimentari, SISTAL;
Società Italiana di Selvicoltura ed Ecologia Forestale, SISEF;
Società Italiana per la Ricerca sulla Flora Infestante SIRFI.

Intensificazione sostenibile nella filiera del pioppo

Vacchiano G.¹, Ancona V.², Badiani M.³, Chiarabaglio P.⁴, Faccoli M.⁵, Fini A.¹, Minotta G.⁶, Marchetti M.⁷, Nervo G.⁴, Paris P.⁸, Proto A.³, Sperandio G.⁹, Zanuttini R.⁶, Zimbalatti G.³

¹Dipartimento di Scienze Agrarie e Ambientali, Università degli Studi di Torino, via Celoria 2, 20133 Milano.

²Istituto di Ricerca sulle Acque, Consiglio Nazionale delle Ricerche, via De Blasio 5, 70132 Bari

³Dipartimento di Agraria, Università Mediterranea di Reggio Calabria, via dell'Università 25, 89124 Reggio Calabria

⁴Centro di Ricerca Foreste e Legno, Consiglio per la Ricerca in Agricoltura e l'Analisi dell'Economia Agraria, Strada Frassineto 35, 15033 Casale Monferrato (AL)

⁵Dipartimento di Agronomia Animali Alimenti Risorse Naturali e Ambiente, Università degli Studi di Padova, Viale dell'Università 16, 35020 Legnaro (PD)

⁶Dipartimento di Scienze Agrarie, Forestali e Alimentari, Università degli Studi di Torino, Largo Braccini 2, 10095 Grugliasco (TO)

⁷Dipartimento di Bioscienze e Territorio, Università degli Studi del Molise, via De Sanctis 1, 86100 Campobasso

⁸Istituto di Biologia Agro-ambientale e Forestale, Consiglio Nazionale delle Ricerche, via Marconi 2, 05010 Porano (TR)

⁹Unità di Ricerca per l'Ingegneria Agraria, Consiglio per la Ricerca in Agricoltura e l'Analisi dell'Economia Agraria, Via Milano 43, 24047 Treviglio (BG)

Riassunto

La pioppicoltura in Italia è un comparto di eccellenza per la produzione di legno ad uso industriale ed energetico. Questo contributo intende analizzare lo stato della filiera produttiva del pioppo in Italia, illustrando le principali prospettive per la crescita della produttività e della sostenibilità del settore, in coerenza con una prospettiva di intensificazione sostenibile.

Oltre all'aspetto produttivo, la pioppicoltura ha anche una elevata valenza ambientale. Lo sviluppo e la diffusione di cloni a maggiore sostenibilità ambientale, i nuovi moduli colturali, le prospettive offerte dalla meccanizzazione e dalla selvicoltura di precisione, i prodotti della bioeconomia e della bioraffineria, e i benefici ambientali in termini di sequestro della CO₂ e contrasto all'inquinamento dell'aria e dei suoli rendono la pioppicoltura una tessera importante della filiera forestale italiana.

Abstract

Poplar cultivation in Italy is a sector of excellence for the production of wood for industrial and energy use. This contribution intends to analyze the state of the poplar production chain in Italy, illustrating the main prospects for increased productivity and sustainability of the sector, in line with a perspective of sustainable intensification. In addition to the productive aspect, poplar cultivation also has a high environmental value. The development and use of clones with greater environmental sustainability, the new cultivation modules, the perspectives offered by high mechanization and precision forestry, the products of the bioeconomy and biorefinery, and the environmental benefits in terms of CO₂ sequestration and remediation to air and soil pollution make poplar cultivation an important sector of the Italian forestry chain.

Keywords: *poplar, arboriculture, sustainability, bioeconomy, forest products*

La pioppicoltura in Italia

La pioppicoltura in Italia è un comparto di eccellenza per la produzione di legno ad uso industriale ed energetico (Corona et al., 2018). Coprendo meno dell'1% della superficie forestale nazionale, fornisce circa 1 milione di m³ di legno tondo all'anno, pari al 45% del tonnage domestico lavorato in Italia (Coaloe et al., 2020). L'area di produzione è localizzata per il 94% nella pianura Padana con prevalenza in Lombardia e Piemonte (70%). Oltre il 50% della superficie ricade in aree golenali, poco meno del 30% in Zone a Protezione Speciale (ZPS), mentre il restante 20% è ricadente in Siti di Interesse Comunitario (SIC) e in aree a parco. I pioppeti, per l'80% realizzati con il clone 'I-214', sono gestiti con turni di 10-12 anni, con produzioni che raggiungono i 200-220 m³ ha⁻¹ (18-20 m³ ha⁻¹ anno⁻¹).

Oltre all'aspetto produttivo, la pioppicoltura ha anche una valenza ambientale, sia per il minore apporto di input energetici rispetto alle altre colture agrarie, sia per il potenziale di mitigazione dei cambiamenti climatici grazie al sequestro CO₂ nel legno. Questi aspetti positivi vengono esaltati dalla recente disponibilità di cloni a Maggiore Sostenibilità Ambientale (MSA) permettono di adottare modelli colturali più sostenibili e ridurre il numero degli interventi colturali e di difesa fitosanitaria. L'attenzione del settore verso gli aspetti ambientali è dimostrata anche dall'incremento delle adesioni dei pioppicoltori agli standard di certificazione della gestione forestale sostenibile (PEFC e FSC) su una superficie complessiva di 6000 ettari.

Il futuro della pioppicoltura, dopo decenni di decrescita negli investimenti e nella redditività, dà segnali di ripresa con una timida tendenza alla crescita sia nelle superfici reinvestite sia nell'andamento dei prezzi di mercato (Coaloe et al., 2020). Questo contributo intende analizzare lo stato della filiera produttiva del pioppo in Italia, illustrando le principali prospettive per la crescita della produttività e della sostenibilità del settore, in coerenza con una prospettiva di intensificazione sostenibile.

La filiera produttiva del pioppo

La pioppicoltura italiana rappresenta uno dei rari casi di integrazione tra il comparto della prima trasformazione e quello della produzione di materia prima (Fig. 1). Questo è reso possibile dalla grande versatilità del pioppo nel fornire assortimenti destinati a più segmenti della filiera produttiva. Tramite sfogliatura, segazione o triturazione è possibile realizzare semilavorati e prodotti che interessano tutto il settore manifatturiero del legno. Se nel tempo alcuni assortimenti hanno perso interesse (come la carta e la triturazione per pannelli), altri se ne sono aggiunti, quali quelli per l'impiego energetico o l'OSB. Il legname da sfogliatura per l'industria del compensato resta comunque la destinazione prevalente e più remunerativa. Come risultato di una pioppicoltura di qualità, il 60% del volume di una pianta è destinato a sfogliatura e segazione e circa il 40% ad assortimenti da triturazione (Cielo e Zanuttini, 2004).

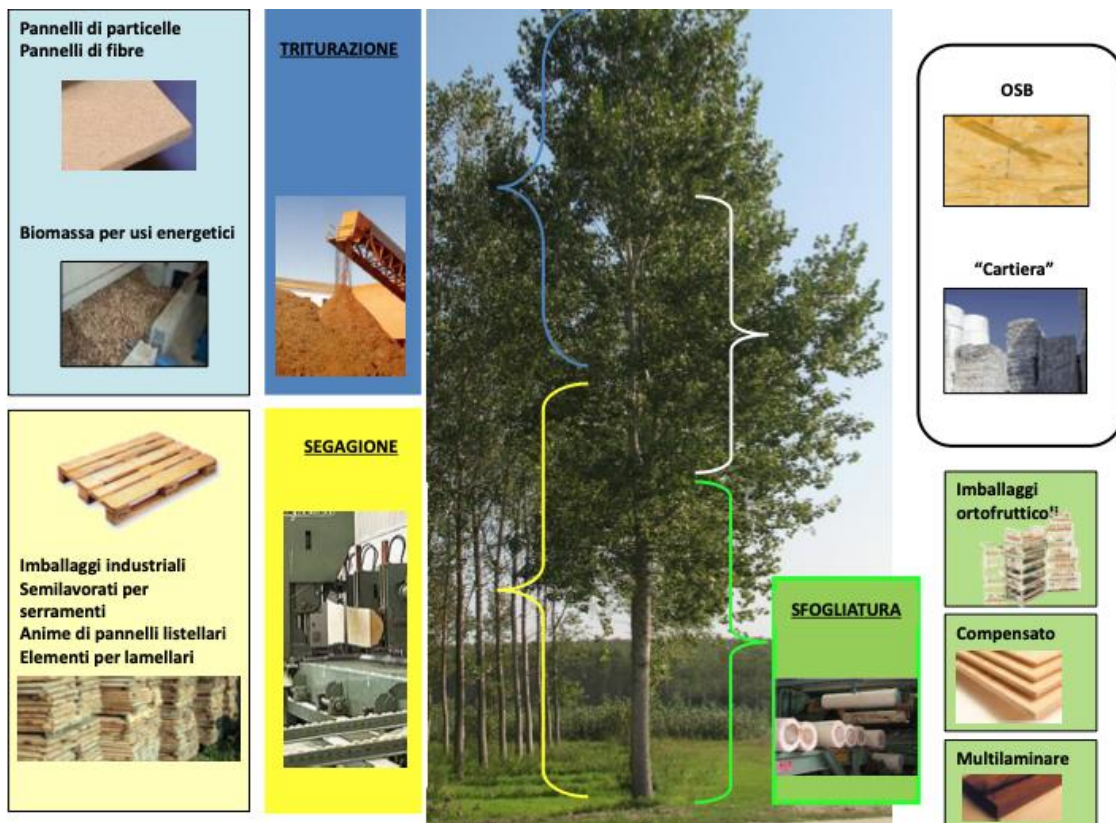


Figura 1. Possibili destinazioni del legno di pino ricavabile dagli impianti di tipo tradizionale, con turni compresi tra (8)10-15 anni (da Castro e Zanuttini, 2008).

Le potenzialità di innovazione del compensato di pino sono legate soprattutto alla sua diversificazione per impieghi alternativi e prodotti a maggior valore aggiunto. È possibile prevedere un maggior impiego del legno di pino per la realizzazione di materiali per l'edilizia (non solo strutturali e anche in abbinamento con altre specie), caratterizzati da elevate prestazioni in termini di isolamento termico, acustico, e stabilità anti-sismica, e da un lungo ciclo di vita che assicura un più efficace sequestro di carbonio. Per i semilavorati destinati al comparto dell'arredamento, si segnala invece il sempre più ampio impiego di adesivi a basso impatto ambientale e sistemi di incollaggio a basse emissioni o privi di formaldeide, nonché la diffusione di trattamenti chimici o fisici (come quelli ad alta temperatura) che ne migliorano la durabilità naturale, fornendo una valida alternativa all'uso del legname tropicale (con ricadute che spaziano da una minor pressione nei confronti delle foreste di origine naturale, alla riduzione di pratiche illegali e delle emissioni dovute ai trasporti su lunga distanza).

Tuttavia, le stime sulla disponibilità del legname di pino di produzione nazionale evidenziano un crescente divario rispetto al consumo (Tab. 1) e alle esigenze del settore di prima trasformazione, che richiederebbe una superficie coltivata di ben maggiore estensione rispetto agli attuali 46.000 ettari (Corona et al., 2018). La quota mancante proviene dall'estero e in particolare da Francia, Ungheria e Spagna, sia sotto forma di legno tondo che di semilavorati. Nell'ultimo periodo, almeno a giudicare da alcune aree della pianura padano-veneta, sembra peraltro in atto un'inversione di tendenza e una ripresa di nuovi impianti che in molti casi sono realizzati senza attendere o ricorrere ai finanziamenti regionali.

Tabella 1. Stime dei consumi annuali di legno di pioppo da parte del comparto industriale di prima trasformazione (Pra e Pettenella, 2019)

Prodotto	Fabbisogno (m³ legno tondo)
Compensato	820 000
Carta	350 000
Pannello truciolare	242 000
OSB	250 000
Imballaggi ortofrutticoli	140 000
Legno segato	120 000
Energia	330 000
Totale	2 252 000

In aggiunta alle produzioni già citate, è in crescita la sperimentazione e la commercializzazione di prodotti del pioppo nell'ambito della bioeconomia e della bioraffineria. Devappa et al. (2015) hanno identificato oltre 160 principi attivi estraibili dai residui di lavorazione dei vari tessuti di pioppo con un possibile impiego biofarmaceutico. A titolo di esempio, Rivas et al. (2020) hanno dimostrato come estrarre da emicellulosa di pioppo oligosaccaridi e composti fenolici naturali (con una resa di oltre 16 kg di prodotto per 100 kg di legno di pioppo) dalle proprietà bioattive antiossidanti, con un interesse per le industrie alimentari e farmaceutiche. Inoltre, estraendo selettivamente la lignina e sostituendola con una resina epossidica, il legno di pioppo può acquisire nuove caratteristiche di resistenza alle intemperie, al fuoco e assumere un aspetto traslucido, con promettenti impieghi nel settore edile, automotive, e dei pannelli fotovoltaici (Lu et al., 2020). Un ulteriore sviluppo della bioeconomia è auspicabile in tutti i Paesi europei, inclusa l'Italia, con l'obiettivo di produrre linee di prodotto diversificate, innovative e redditizie utilizzando biorisorse locali (legno e residui di alberi) e sostituendo prodotti e lavorazioni maggiormente clima-impattanti.

Innovazione nei modelli colturali

Il modello di pioppicoltura tradizionale per la produzione di topi da sfogliato per l'industria dei pannelli compensati prevede densità di impianto di 200-280 piante ha⁻¹ e turni variabili da 8 a 12 anni (Tab. 2). Il clone più utilizzato (70% degli impianti) è l'I214, un genotipo che necessita di trattamenti fitosanitari potenzialmente impattanti ma particolarmente gradito per la leggerezza ed il colore chiaro del legno.

Negli ultimi decenni, l'evoluzione di nuovi sistemi di raccolta con unità semoventi specializzate o attrezzature combinate per il taglio e l'allestimento ha favorito l'aumento della produttività e della sicurezza nei cantieri, raddoppiando e talvolta triplicando i quantitativi di legname raccolti e allestiti rispetto ai metodi tradizionali. I costi di raccolta diminuiscono sensibilmente con una meccanizzazione avanzata (da 19-21 a 14-15 € ton⁻¹) (Corona et al., 2018), ma è necessario comunque ottimizzare il loro utilizzo garantendo un elevato numero di giorni annui di impiego. Per tale motivo, la meccanizzazione spinta può essere applicata principalmente nelle coltivazioni di medie e grandi dimensioni.

La pioppicoltura include anche i cedui a corta rotazione (Short Rotation Coppices, SRC) che, con turni più brevi rispetto alla pioppicoltura tradizionale, hanno come obiettivo la produzione di materiale di piccole dimensioni per energia o altri usi industriali. Gli impianti SRC hanno un rapporto energetico output/input superiore a quello delle tradizionali colture erbacee, nonché un prelievo di nutrienti dal terreno inferiore alle colture cerealicole (Hofmann-Schielle et al., 1999, Djomo et al., 2015). Per questo tipo di impianti oggi si distinguono due principali modalità realizzative: a) SRC a densità elevata, con 1100-1600 piante ha⁻¹ e turni di 5 anni per la produzione di tronchetti da sega per l'industria degli imballaggi o dei pannelli OSB e di biomassa per usi energetici; b) SRC a densità molto elevata, con 6000-8000 piante ha⁻¹ e turni di 2 anni per ottenere biomassa ad uso energetico o per pannelli di particelle. Ricerche recentemente condotte in Italia hanno evidenziato una produttività sostanzialmente simile nelle due tipologie di SRC (Facciotto et al., 2020). Tuttavia il passaggio dai turni biennali ai turni quinquennali può migliorare il rapporto energetico output/input della coltura (Nassi et al., 2010), il livello di biodiversità (Weger et al., 2013) e la qualità del suolo (Pellegrino et al., 2011).

Tabella 2. Principali modelli colturali della moderna pioppicoltura in Italia (da Facciotto et al., 2015)

Modello colturale		SRF	SRC	SRC
Obiettivo		compensati	pannelli OSB, imballaggi, biomassa	biomassa
Densità di impianto	(ha ⁻¹)	200-280	1100-1600	5000-8000
Durata dell'impianto	(anni)	10	10	10
Turno	(anni)	10	5	2
D _{1,30} medio alla fine del turno	(cm)	28-33	16-18	5-7
H media alla fine del turno	(m)	24	15	8
Provvigione alla fine del turno	(t ha ⁻¹)	140-180	145	20-55

La biomassa prodotta da SRC si presta alla valorizzazione energetica volta a generare composti gassosi (da processi di gassificazione), liquidi (che possono partecipare a biocombustibili, quali l'etanolo), e solidi, con particolare riferimento al biochar, che può essere inviato a filiere di utilizzo agricolo o industriale (per esempio nell'edilizia). Recenti sviluppi mostrano una buona potenzialità del legno di pioppo anche per la produzione biogenica di idrogeno "verde" (Patel et al., 2020).

Per la realizzazione degli impianti SRC in Italia sono state proposte, oltre al pioppo, anche altre specie quali i salici (nell'Italia settentrionale), la robinia (nell'Italia settentrionale e centrale), gli eucalipti (nell'Italia meridionale). Per i salici in Italia vengono proposti cloni di *S. alba*, *S. caprea* ed ibridi di *S. babylonica*; per la robinia una provenienza ungherese (Energy) selezionata per questo modello colturale (Facciotto et al., 2020). Queste specie possono essere utilizzate in contesti ambientali dove il pioppo risulta sfavorito. Allo stato attuale la loro diffusione è però ancora sporadica, Tra le altre specie in fase di sperimentazione per questo tipo di impianti presso il centro CREA di Casale Monferrato si segnalano il gelso (*Morus* spp.), l'olmo siberiano (*Ulmus pumila*) e la Paulownia. Le produttività ottenibili con queste specie vanno da 3-15 t s.s. ha⁻¹ anno⁻¹ nel caso della robinia, a 5-35 per l'eucalipto (Minotta et al., 2018).

Sostenibilità ambientale

L'impatto ambientale della pioppicoltura in aree sensibili, quali le golene e i siti Natura 2000, può essere ridotto anzitutto ottimizzando le tecniche di gestione degli impianti. Il protocollo di gestione sostenibile dei pioppeti, messo a punto ai fini della ecocertificazione della pioppicoltura (PEFC, 2017), indica gli interventi colturali più utili per la salvaguardia della biodiversità, della qualità del suolo e delle acque, dello stoccaggio del carbonio. Un ulteriore aspetto innovativo delle colture pioppicole è legato allo sviluppo della "precision forestry" (Corona et al., 2017), che consente di realizzare interventi sito-specifici per ottimizzare l'uso dei fattori colturali aumentando la produttività e contemporaneamente la sostenibilità delle piantagioni da legno.

Per ridurre l'impiego dei pesticidi, sono stati selezionati cloni di pioppo a Migliore Sostenibilità Ambientale (MSA), resistenti alle principali fitopatie che colpiscono questa specie. La migliore sostenibilità ambientale dei nuovi cloni MSA è legata alla definizione di appropriati disciplinari e all'ottimizzazione degli interventi di difesa (che non vengono più programmati "a calendario" ma solo se necessari) e di eventuale irrigazione di emergenza (Coaloa et al., 2016). I cloni MSA presentano caratteristiche tecnologiche diverse rispetto al clone di riferimento I214, ad esempio una maggiore massa volumica, e pur permettendo la generazione di prodotti in legno ingegnerizzati (Berti et al., 2018), il loro impiego necessita di alcuni processi di adattamento da parte dell'industria di trasformazione. Inoltre, sebbene siano più di 20 i cloni MSA registrati per la commercializzazione, solo alcuni di essi hanno raggiunto una diffusione soddisfacente, non ultimo a causa di una limitata disponibilità del materiale di propagazione presso i vivai.

L'introduzione di nuovi cloni dovrebbe tuttavia favorire un più ampio ricorso alla certificazione della gestione degli impianti e di tracciabilità del legno, soddisfacendo i requisiti delle politiche di acquisto pubblico (Green Public Procurement e Criteri Ambientali Minimi). I nuovi modelli colturali, unitamente ad un rinnovato interesse alla realizzazione di impianti lineari ("a filare") determinano ricadute positive anche dal punto di vista dell'impatto paesaggistico. Inoltre, i nuovi cloni si adattano allo sviluppo di nuovi modelli di impianto (ad es. policiclici) in cui il pioppo è misto ad altre specie a turni differenziati, in grado di consentire al proprietario di ottenere redditi intermedi e, per le specie principali, raggiungere diametri medi elevati con conseguenti maggiori rese di lavorazione.

Gli impianti policiclici rappresentano la più recente evoluzione delle piantagioni di latifoglie realizzati in Italia a partire dagli anni '80 del secolo scorso nel quadro della politica di imboschimento dei terreni agricoli. Sono costituiti dalla consociazione di diverse specie arboree e arbustive caratterizzate da una differente lunghezza del ciclo produttivo (Buresti Lattes e Mori, 2016; Buresti Lattes et al., 2017), con specie a legno di pregio (noce, ciliegio, frassino, etc..) a turni di 30-35 anni, pioppi da sfogliato a ciclo breve di 10-12 anni e/o specie a rapida crescita allevate a ceduo a ciclo molto breve di 2-5 anni per la produzione di biomassa. Le piante devono essere messe a dimora secondo schemi prefissati per consentire il pieno sviluppo di tutte le specie presenti senza diradamenti intercalari. I punti di forza di questi impianti sono: la varietà dei prodotti ottenibili sulla medesima superficie, che può ridurre il rischio economico; la facilitazione tra le diverse specie, che può ridurre l'intensità delle cure colturali necessarie e migliorare la resa del fusto in assortimenti di pregio (Tab. 3); la maggiore

biodiversità rispetto agli impianti puri, alla quale si accompagna una minore sensibilità alle avversità biotiche e quindi una minore necessità di trattamenti fitosanitari; il maggiore pregio paesaggistico rispetto agli impianti puri. Il bilancio economico può essere più favorevole rispetto agli impianti puri (Coaloe et al., 2020). Le difficoltà legate alla necessità di una accurata progettazione e alla maggiore complessità delle operazioni di impianto possono essere superate mediante l'erogazione di appositi contributi, già prevista da molte regioni con i fondi PSR, e fornendo ai proprietari una adeguata assistenza tecnica.

Tabella 3. Frequenza relativa delle classi di qualità del fusto (A: legno da trancia, B: legno da sega) in impianti di noce in Italia (da Pelleri et al., 2020)

Tipo di impianto	A %	B %	C %	D %	A+B%
Misto	8.3	22.2	32.0	27.0	30.5
Misto con alberi tutore	11.3	18.5	24.1	38.2	29.7
Policiclico	28.7	38.7	23.3	7.3	67.3
Puro	6.7	21.0	35.4	29.7	27.6
Puro con alberi tutore	0.5	15.2	31.0	48.1	15.7
Media Italia	8.7	21.5	31.5	30.6	30.2

Servizi ecosistemici di regolazione

Secondo i dati del secondo Inventario Nazionale delle Foreste e dei serbatoi di Carbonio (INFC, 2008), le superfici coltivate a pioppo in Italia contengono un stock epigeo e ipogeo pari a 4.9 milioni di tonnellate di CO₂, con una densità di carbonio di 75 tonnellate di CO₂/ettaro. In ragione del rapido accrescimento, il bilancio complessivo del flusso di carbonio nell'ecosistema varia da 12 a 17 tonnellate di CO₂ ha⁻¹ anno⁻¹ (media sul turno) nei pioppeti a bassa e alta intensità di gestione rispettivamente, e può arrivare a 25-30 nei cedui a rapida rotazione (Tedeschi et al., 2005; Chiarabaglio et al., 2014). I benefici climatici della pioppicoltura (sempre da valutare in relazione agli usi alternativi del suolo) comprendono anche effetti indiretti. Le produzioni contribuiscono a ridurre le emissioni di gas serra legate all'uso di combustibili fossili sostituendo materiali e combustibili climalteranti, mentre l'afforestazione a lungo termine dei terreni agricoli può significativamente aumentare lo stock di sostanza organica rispetto alle colture agrarie annuali (Lagomarsino et al., 2009). Infine, la produzione legnosa fuori foresta può ridurre la pressione sui boschi naturaliformi, permettendo a quest'ultimi di sviluppare in pieno la propria funzione di serbatoi di carbonio

La vegetazione inoltre è un eccellente sink di inquinanti dell'aria. Un m² di superficie alberata può rimuovere da 0.07 a 2.8 grammi di particolato all'anno (Ferrini et al., 2020). Il portamento, le dimensioni e la densità della chioma, le caratteristiche morfo-anatomiche e la persistenza delle foglie influenzano la quantità di inquinanti intercettata per unità di area fogliare, che può variare anche di 10-20 volte (Sæbø et al., 2012; Grote et al., 2016). L'uso di specie e genotipi di *Populus* a foglia fittamente tomentosa (Feodorova e Alexandrov, 2020) è raccomandato per la realizzazione di barriere anti-inquinamento, mentre il pioppo nero ha mostrato scarsa capacità di migliorare la qualità dell'aria rispetto ad altre specie ornamentali

(Fini et al., 2019). Il pioppo, a causa delle foglie anfistomatiche e dell'elevata conduttanza stomatica (Fini et al., 2019), presenta un alto potenziale di assorbimento anche per gli inquinanti gassosi (NO_x, O₃, SO₂). Tuttavia è anche forte emettitore di isoprene, che, in atmosfere inquinate da NO_x, può preludere alla formazione di ozono troposferico (Fini et al., 2017). La selezione di genotipi non-emettitori o bassi emettitori è auspicabile per l'uso in ambienti antropizzati.

La coltivazione del pioppo dà ottimi risultati anche nei confronti dell'inquinamento del suolo. Il biorimedio fitoassistito (Plant-Assisted BioRemediation, PABR) è una tecnologia che sfrutta l'azione sinergica che si instaura nella rizosfera tra l'apparato radicale delle piante e microorganismi (batteri e funghi) per rimuovere, trasformare o contenere sostanze tossiche presenti nei suoli, sedimenti, acque (Wenzel, 2009). La capacità metabolica della comunità microbica autoctona viene stimolata dalla presenza di una specie vegetale (Gamalero et al., 2012; Ancona et al., 2017a) che, attraverso le radici, rilascia ossigeno ed essudati coadiuvanti del desorbimento e della biodegradazione degli inquinanti (Meggo et al., 2013; Ancona et al., 2017b).

Le Salicacee comprendono alcune tra le specie più idonee per il biorimedio fito-assistito di aree contaminate da composti tossici. Il pioppo, grazie al suo rapido tasso di crescita e all'apparato radicale profondo e diffuso, oltre alla sua capacità di crescere in terreni poveri di nutrienti e di resistere ad alte concentrazioni di metalli (Di Baccio et al., 2003; Sebastiani et al., 2004; Soudek et al., 2004) è stato utilizzato con successo per stimolare la biodegradazione di composti xenobiotici sia in studi in pieno campo (Liu & Schnoor, 2008; Zhai et al., 2011; Massacci et al., 2012; Ancona et al., 2017a, 2020; Barra Caracciolo et al., 2020) che in studi sul microcosmo (Nogues et al., 2019). Tale utilizzo ben si colloca nella visione di intensificazione sostenibile dell'intera filiera del pioppo. Esso, infatti, oltre a produrre i documentati effetti su biodegradazione e fitorisanamento, influisce positivamente su varie proprietà del suolo. Nella rizosfera si osserva infatti un aumento del carbonio organico disponibile, una maggiore areazione, e un incremento della porosità del suolo – cioè alcuni tra gli indicatori della sostenibilità ecologica della gestione del suolo (AISSA 2019).

La biomassa di pioppo prodotta in applicazioni di biorimedio fito-assistito può essere usata per produrre energia, in linea con quanto indicato nella Direttiva Europea sulle Energie Rinnovabili (*Renewable Energy Directive* (EU) 2018/2001) del Dicembre 2018, che ribadisce i criteri di sostenibilità per la produzione di energia da fonti rinnovabili. Il pioppo nelle applicazioni di PABR per la riqualificazione ambientale delle aree numerose contaminate presenti sul territorio nazionale rappresenta una strategia sostenibile sia in termini di bonifica che di recupero di biomassa da destinare alla filiera bioenergetica, avendo cura di catturare preventivamente gli eventuali contaminanti incorporati nel legno e nelle sue emissioni gassose (Ancona et al., 2019).

Prospettive future

La ricerca nel settore pioppicolo e in arboricoltura dovrà continuare ad approfondire le relazioni tra alberi e ambiente, specialmente nella direzione di un continuo miglioramento genetico (Thakur et al., 2021) rivolto a selezionare le varietà e le consociazioni dotate di maggiore resilienza agli stress climatici, che rischiano di vanificare i benefici attesi dagli impianti. I cambiamenti climatici che negli ultimi decenni si stanno presentando con

preoccupante incidenza a livello planetario coinvolgono infatti anche il sistema della pioppicoltura italiana, determinando un prevedibile aumento dello stress evaporativo specialmente nella stagione estiva nella Pianura Padana. Crescenti danni sono prevedibili sia in seguito all'induzione negli alberi di condizioni di forte stress climatico (estremi termici, deficit idrico), sia all'aumento della frequenza e intensità di eventi estremi (forti venti) in grado di uccidere direttamente le piante. Il mutato quadro climatico indebolisce inoltre le piante esacerbando le infestazioni di insetti nativi storicamente legati al pioppo, quali *Melasma populi* e *Saperda charcarias*, e permette la sopravvivenza di fitofagi esotici introdotti grazie ai veloci commerci internazionali di legname e materiale vivaistico, come nel caso di *Megaplatypus mutatus* e *Halyomorpha halys*. La lotta integrata sembra essere l'unico approccio per un controllo efficace e combinato di vecchi e nuovi parassiti.

Lo sviluppo e la diffusione di cloni a maggiore sostenibilità ambientale, i nuovi moduli colturali, le prospettive offerte dalla meccanizzazione e dalla selvicoltura di precisione, i prodotti della bioeconomia e della bioraffineria, e i benefici ambientali in termini di sequestro della CO₂ e contrasto all'inquinamento dell'acqua e dei suoli rendono la pioppicoltura una tessera importante della filiera forestale italiana, della gestione territoriale (Strategia Forestale Nazionale 2021-2040), delle opportunità di afforestazione a scala nazionale (Lombardi et al., 2019) ed europea (Strategia Europea per la Biodiversità al 2030) e del processo di intensificazione sostenibile (AISSA, 2019) al centro delle politiche nazionali ed europee.

Nell'ottica delle strategie di sviluppo sostenibile e degli Obiettivi di Sviluppo Sostenibile dell'ONU, una pioppicoltura innovativa può essere caratterizzata da elevati valori di sostenibilità economica, ambientale, e anche sociale. Anzitutto per quanto riguarda il dell'occupazione nell'ambito della produzione e trasformazione del legno di pioppo, con possibilità di sviluppare filiere corte e certificate e mettere a punto nuovi semilavorati e compositi destinati ai moderni sistemi costruttivi che alimentano investimenti nel settore dell'edilizia (pubblica e privata, residenziale e delle opere di ingegneria, per nuove progettazioni o il recupero del costruito) e dell'efficienza energetica. Tali sviluppi possono essere facilitati attraverso l'introduzione di accordi di filiera tra diversi soggetti economici (dai pioppicoltori agli industriali, ma anche tra Regioni e *stakeholders* pubblici e privati), finalizzati a promuovere la ripresa in chiave moderna di una risorsa strategica e ripartire in maniera più equilibrata il rischio di impresa e la distribuzione del valore della produzione legnosa considerata. I benefici occupazionali non si limitano all'indotto del comparto arredo, in cui i semilavorati a base di pioppo hanno spesso rappresentato uno strumento per concretizzare e diffondere a livello internazionale l'eccellenza del design italiano, ma si estendono alle nuove opportunità che una pioppicoltura meno intensiva offre al comparto agricolo in aree collinari o del Centro-Sud Italia.

Nuove opportunità sociali e per lo sviluppo delle aree interne, infine, sono da ricercare nella fruizione di benefici ecosistemici e nello sviluppo di iniziative mirate a implementare funzionalità non solo produttive di alcuni modelli di impianti di arboricoltura che interessano anche il pioppo, ad esempio con la costituzione di percorsi agri-turistici e percorsi di mobilità dolce (piste ciclabili) che possono collegare "in rete" diverse aree di pianura e collina.

Bibliografia

- AISSA, 2019. Intensificazione sostenibile strumento per lo sviluppo dell'agricoltura italiana. 190628_Intensificazione_sostenibile_versione_ecostampa.pdf (aissa.it) (scaricato marzo 2021)
- Ancona V., Barra Caracciolo A., Campanale C., De Caprariis B., Grenni P., Uricchio V.F., Borello D., 2019. Gasification treatment of poplar biomass produced in a contaminated area restored using plant assisted bioremediation. *Journal of Environmental Management*, 239: 137-141.
- Ancona V., Barra Caracciolo A., Grenni P., Di Lenola M., Campanale C., Calabrese A., Uricchio V. F., Mascolo G., Massacci A., 2017a. Plant-assisted bioremediation of a historically PCB and heavy metal-contaminated area in southern Italy. *New Biotechnology*, 38: 65-73.
- Ancona V., Grenni P., Barra Caracciolo A., Campanale C., Di Lenola M., Rascio I., Uricchio V.F., Massacci A., 2017b. Plant-assisted bioremediation: an ecological approach for recovering multi-contaminated areas. In: Lukac M., Grenni P., Gamboni M. (eds.), *Soil biological communities and ecosystem resilience, sustainability in plant and crop protection*, Springer, New York: pp. 291-303.
- Barra Caracciolo A., Grenni P., Garbini G.L., Rolando L., Campanale C., Aimola G., Fernandez-Lopez M., Fernandez-Gonzalez A.J., Villadas P.J., Ancona V., 2020. Characterization of the belowground microbial community in a poplar-phytoremediation strategy of a multi-contaminated soil. *Frontiers in Microbiology*, 11: 2073.
- Berti S., Castro G., Zanuttini R., 2018. Prospettive di impiego industriale dei cloni di pioppo MSA in relazione alle caratteristiche tecnologiche del legno. Nota presentata al IV Congresso internazionale di Selvicoltura, Torino, 5-9 novembre 2018.
- Buresti Lattes E., Mori P., Pelleri F., 2017. Cenni di progettazione e linee guida per il collaudo delle piantagioni policicliche. Rete Rurale Nazionale, Consiglio per la ricerca in agricoltura e l'analisi dell'economia agraria, Roma: 32 pp.
- Buresti Lattes E., Mori P. (eds.), 2016. Progettazione realizzazione e gestione delle piantagioni Policicliche di tipo naturalistico. Progetto Life+InBioWood (life 12 ENV/IT/000153). Compagnia delle Foreste, Arezzo: 112 pp.
- Castro G., Zanuttini R., 2009. Poplar cultivation in Italy: history, state of the art, perspectives. Cost Action E44 "Wood Processing Strategies". Proceeding of the Final Conference – Milan, May 30th – June 3rd 2008.
- Chiarabaglio P.M., Allegro G., Rossi A.E., Savi L., 2014. Studi sulla sostenibilità della pioppicoltura in Lombardia. *Sherwood*, 206: 5-8
- Cielo P., Zanuttini R., 2004. La raccolta del legno nei pioppeti. *L'Italia Forestale e Montana*, 6: 467-482.
- Coaloe D., Chiarabaglio P.M., Giorcelli A., Pelleri F., Plutino M., Rosso L., Corona P., 2020. Redditività di pioppeti ad alto fusto e di piantagioni di latifoglie a legname pregiato in Italia. *Forest@*, 17: 101-108
- Coaloe D., Facciotto G., Chiarabaglio P.M., Giorcelli A., Nervo G., 2016. Cloni di pioppo a Maggior Sostenibilità Ambientale (MSA). Vantaggi della loro coltivazione. *Sherwood*, 216: 31-34.
- Corona P., Chianucci F., Quatrini V., Civitaresse V., Clementel F., Corrado Costa C., Floris A., Menesatti P., Puletti N., Sperandio G., Verani S., Turco R., Bernardini V., Plutino M., Scrinzi G., 2017. Precision forestry, concepts tools and perspectives. *Forest@*, 14: 1-12.
- Corona P., Bergante S., Castro G., Chiarabaglio P.M., Coaloe D., Facciotto G., Gennaro M., Giorcelli A., Rosso L., Vietto L., Nervo G., 2018. Linee di indirizzo per una pioppicoltura sostenibile. Rete Rurale Nazionale, Consiglio per la ricerca in agricoltura e l'analisi dell'economia agraria, Roma: 68 pp.
- Di Baccio D., Tognetti R., Sebastiani L., Vitagliano C., 2003. Responses of *Populus deltoides* x *Populus nigra* (*Populus* x *euramericana*) clone I-214 to high zinc concentrations. *New Phytologist*, 159: 443-52.
- Djomo S.N., Zenone T., De Groot T., Bergante S., Facciotto G., Sixto H., Ciria P.C., Weger J., Ceulemans R., 2015. Energy performances of intensive and extensive short rotation cropping systems for woody biomass production in the EU. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 41: 845-854.
- Facciotto G., Bergante S., Rosso L., Minotta G., 2020. Comparison between two and five years rotation models in poplar, willow and black locust Short Rotation Coppices (SRC) in North West Italy. *Annals of Silvicultural Research*, 45: 12-20.
- Facciotto G., Minotta G., Paris P., Pelleri F., 2015. Tree farming, agroforestry and the new green revolution, a necessary alliance. In: *Proceedings of the Second International Congress of Silviculture*. Florence, November 26th – 29th 2014: pp. 658-669.
- Feodorova T.A., Alexandrov O.S., 2020. Comparative studying of leaf trichomes, teeth and glands in *Populus nigra* L., *Populus deltoides* W. Bartam ex Marshall and their hybrids. *Forests*, 11: 1267.
- Ferrini, F., Fini, A., Mori, J., Gori, A., 2020. Role of vegetation as a mitigating factor in the urban context. *Sustainability*, 12: 4274.
- Fini A., Brunetti C., Loreto F., Centritto M., Ferrini, F., Tattini, M., 2017. Isoprene responses and functions in plants challenged by environmental pressures associated to climate change. *Frontiers in Plant Science*, 8: 1281.
- Fini, A., Mori, J., Ferrini, F., Pasquinelli, A., Wezyk, P., Failla, O., Viskanec, P., 2019. Measuring ecosystem services by urban tree species: the LIFE Urbangreen project – preliminary results. *Proceedings of the 95th Annual Congress of the International Society of Arboriculture*, Knoxville, TN, USA, 11th – 14th August 2019.
- Gamalerò E., Cesaro P., Cicutelli A., Todeschini V., Musso C., Castiglione S., Fabiani A., Lingua G., 2012. Poplar clones of different sizes, grown on a heavy metal polluted site, are associated with microbial populations of varying composition. *Science of the Total Environment*, 425: 262-270.
- Grote R., Samson R., Alonso R., Amorim J.H., Cariñanos P., Churkina G., Fares S., Thiec D.L., Niinemets Ü., Mikkelsen T.N., Paoletti E., 2016. Functional traits of urban trees: air pollution mitigation potential. *Frontiers of Ecology and the Environment*, 14: 543-550.
- Hofmann-Schielle C., Jug A., Makeschin F., Rehfuess K.E., 1999. Short-rotation plantations of balsam poplars, aspen and willows on former arable land in the Federal Republic of Germany. I. Site-growth relationships. *Forest Ecology and Management*, 121: 41-55.
- INFC, 2008. *Inventario Nazionale delle Foreste e dei Serbatoi di Carbonio*. www.sian.it/inventarioforestale.
- Lagamarsino A., De Angelis P., Moscatelli M.C., Grego S., Scarascia Mugnozza G., 2009. Accumulo di C nel suolo di una piantagione di *Populus* spp. in condizioni di elevata CO₂ atmosferica e fertilizzazione azotata. *Forest@*, 6: 229-239.
- Liu J., Schnoor J.L., 2008. Uptake and translocation of lesser chlorinated polychlorinated biphenyls (PCBs) in whole hybrid of poplar plants after hydroponic exposure. *Chemosphere*, 73:1608-1616.
- Lombardi F., Tognetti R., Marchetti M., 2019. Il Decreto CLIMA: nuove opportunità per le aree forestali ad elevato valore naturalistico. *Forest@*, 16: 83-85.
- Lu M., He W., Li Z., Qiang H., Cao J., Guo F., Wang, R. Guo Z., 2020. Effect of lignin content on properties of flexible transparent poplar veneer fabricated by impregnation with epoxy resin. *Polymers*, 12: 2602.
- Massacci A., Bianconi D., Paris P., 2012. Pioppicoltura a turno di taglio breve per bioenergia e fitorimediazione. *7:125-144*.

- Meggio R.E., Schnoor J.L., Hu D., 2013. Dechlorination of PCBs in the rhizosphere of switchgrass and poplar. *Environmental Pollution*, 178: 312–321.
- Minotta G, Facciotto G., Bergante S., 2018. Esperienze di SRC in Italia. In: *Piantagioni legnose, imboschimento superfici agricole e sistemi Agroforestali*, Rete Rurale Nazionale, Roma, 12 dicembre 2018.
- Nassi N., Guidi W, Ragagnoli G., Tozzini C., Bonari E., 2010. Biomass production and energy balance of a 12-year-old short-rotation coppice poplar stand under different cutting cycles. *GCB Bionergy*, 2: 89-97
- Nogues I., Grenni P., Di Lenola M., Passatore L., Guerriero E., Benedetti P., Massacci A., Rauseo J., Barra Caracciolo A., 2019. Microcosm experiment to assess the capacity of a poplar clone to grow in a PCB-contaminated soil. *Water*, 11: 2220.
- Patel S.K., Gupta R.K., Das D., Lee J.K., Kalia V.C., 2021. Continuous biohydrogen production from poplar biomass hydrolysate by a defined bacterial mixture immobilized on lignocellulosic materials under non-sterile conditions. *Journal of Cleaner Production*, 287: 125037.
- PEFC, 2017. Norme tecniche PEFC per la Gestione Sostenibile delle piantagioni arboree: norme tecniche PEFC per la Gestione Sostenibile dei Pioppeti. PEFC Italia 1004-1: 35 pp.
- Pellegrino E., Di Bene C., Tozzini C., Bonari E., 2011. Impact on soil quality of a 10-year-old short-rotation coppice poplar stand compared with intensive agricultural and uncultivated systems in a Mediterranean area. *Agriculture Ecosystems & Environment*, 140: 245-254.
- Pelleri F., Castro G., Marchi M., Fernandez-Moya J., Chiararbaglio P.M., Giorcelli A., Bergante S., Gennaro M., Manetti M.C., Plutino M., Bidini C., Sansone D., Urbán-Martínez I., 2020. The walnut plantations (*Juglans* spp.) in Italy and Spain: main factors affecting growth. *Annals of Silvicultural Research*, 44: 14-23
- Pra A, Pettenella R. (2019). Investment returns from hybrid poplar plantations in northern Italy between 2001 and 2016: are we losing a biobased segment of the primary economy? *Italian Review of Agricultural Economics* 74: 49-71.
- Rivas S., Rigual V., Domínguez J.C., Alonso M.V., Oliet M., Parajó J.C., Rodríguez F., 2020. A biorefinery strategy for the manufacture and characterization of oligosaccharides and antioxidants from poplar hemicelluloses. *Food and Bioproducts Processing*, 123: 398-408.
- Sæbø A., Popok R., Nawrot B., Hanslin H.M., Gawronska H., Gawronski S.W., 2012. Plant species differences in particulate matter accumulation on leaf surfaces. *Science of the Total Environment*, 427–428: 347–354.
- Sebastiani L., Scebba F., Tognetti R., 2004. Heavy metal accumulation and growth responses in poplar clones Eridano (*Populus deltoides* x *maximowiczii*) and I214 (*P. x euramericana*) exposed to industrial waste. *Environmental and Experimental Botany*, 52: 79–88.
- Soudek P., Tykva R., Vanek T., 2004. Laboratory analyses of ¹³⁷C's uptake by sunflower, reed and poplar. *Chemosphere*, 55:1081–1087.
- Tedeschi V., Zenone T., Facciotto G., Bergante S., Federici S., Matteucci G., Lumicisi A., Seufert G., 2005. Greenhouse gases balance of two poplar stands in Italy: a comparison of a Short Rotation Coppice and a Standard Rotation Plantation. In: *Proceedings of the 14th European Conference & Exhibition, Biomass for Energy, Industry and Climate Protection*, Paris, 17th – 21st October 2005, pp. 2014–2016-
- Thakur A.K., Kumar P., Parmar N., Shandil R.K., Aggarwal G., Gaur A., Srivastava D.K., 2021. Achievements and prospects of genetic engineering in poplar: a review. *New Forests*, in press. <https://doi.org/10.1007/s11056-021-09836-3>
- Weger J., Vávrová K., Bubeník J., Kašparová L., Komárek A., 2013. The influence of rotation length on the biomass production and diversity of ground beetles (*Carabidae*) in poplar short rotation coppice. *Biomass and Bioenergy*, 54: 284–292.
- Wenzel W.W., 2009. Rhizosphere processes and management in plant-assisted bioremediation (phytoremediation) of soils. *Plant and Soil*, 321: 385-408.
- Zhai G., Hu D., Lehmler H.J., Schnoor J.L., 2011. Enantioselective biotransformation on chiral PCBs in whole poplar plants. *Environmental Science and Technology*, 45: 2308–2316.

Sfide e opportunità offerte dall'intensificazione sostenibile nella filiera del riso

Ferrero A.¹, Cavalca L.², Celi L.¹, Fornara F.³, Magnaghi R.⁴, Romani M.⁴, Sacchi G.A.⁵, Valè G.⁶

¹Dipartimento di Scienze Agrarie, Forestali e Alimentari – Università degli Studi di Torino.

²Dipartimento di Scienze per gli Alimenti, la Nutrizione e l'Ambiente- Università degli Studi di Milano.

³Dipartimento di Bioscienze – Università degli Studi di Milano.

⁴Ente Nazionale Risi, Milano.

⁵Dipartimento di Scienze Agrarie e Ambientali - Produzione, Territorio, Agroenergia_- Università degli Studi di Milano.

⁶Dipartimento di Scienze e Innovazione Tecnologica - Università del Piemonte Orientale.

Riassunto

Nella campagna produttiva del 2020 il riso è stato coltivato nel nostro Paese su una superficie di 227.000 ha, con una produzione di 1.498.000 tonnellate alla raccolta, destinate per il 38% al consumo nazionale, il 50% all'esportazione nei paesi UE e il 12 % nei paesi terzi.

La risicoltura nazionale è un sistema di coltivazione fortemente specializzato, caratterizzato da un elevato grado di meccanizzazione e da uno spiccato orientamento verso la monocoltura.

Nei territori in cui è principalmente coltivato, il cereale consente di valorizzare le disponibilità idriche naturali, non altrimenti sempre utilizzabili in modo adeguato, creando, nel contempo, un sistema connotato da una fondamentale valenza ecologica.

Gli aspetti più critici dell'intensificazione sostenibile del sistema produttivo risicolo del nostro paese sono prevalentemente legati alla gestione dell'acqua, alla fertilizzazione azotata, al contenimento delle avversità e alla mitigazione dei rischi di contaminazione delle acque da prodotti fitosanitari e di emissione dei gas serra.

Con riferimento all'uso dell'acqua, è opportuno porre molta attenzione al mantenimento di un rapporto equilibrato tra le superfici interessate dalla semina del riso in acqua e quelle in asciutta, per garantire un'adeguata disponibilità idrica in tutto l'areale risicolo.

Particolarmente impegnativa è in questa coltura la gestione delle avversità, soprattutto rappresentate dalle piante infestanti e dalle malattie fungine, che, in assenza di un efficace controllo, potrebbero causare anche la totale perdita della produzione. E' a questo scopo necessario ricorrere all'adozione di pratiche basate sulla combinazione dei diversi possibili strumenti di lotta, agronomici, meccanici, fisici, genetici e chimici, applicando accorgimenti in grado, anche, di garantire la sicurezza sanitaria e limitare l'impatto ambientale. Con riferimento a quest'ultimo aspetto, è, ad esempio, possibile limitare la contaminazione delle acque superficiali da parte dei prodotti fitosanitari mediante l'adozione di aree di rispetto e di fasce tampone inerbiti inserite tra i corsi d'acqua e le superfici trattate, o ricorrendo ad un'appropriata gestione della circolazione dell'acqua nelle camere di risaia, in modo da favorire la degradazione degli stessi prodotti, dopo la loro applicazione.

Le emissioni di gas climalteranti possono essere significativamente contenute mediante l'adozione di opportune pratiche colturali, quali la semina in asciutta, l'interramento autunnale dei residui colturali e la sommersione del terreno nel periodo invernale.

L'adozione di appropriate scelte agronomiche e di opportuni accorgimenti operativi, suggeriti dalle evidenze della ricerca, rappresentano la condizione fondamentale per l'intensificazione

produttiva del sistema colturale risicolo e per il raggiungimento di elevati standard qualitativi, nella salvaguardia della sicurezza ambientale e sanitaria.

Abstract

In the 2020 cropping year, rice was cultivated in Italy on an area of 227,000 ha, with a production of 1,498,000 tonnes at harvest, 38 % for national consumption, 50 % for export to EU countries and 12 % to third countries.

Rice farming is a highly specialised cultivation system, characterised by a high degree of mechanisation and a marked orientation towards monoculture.

In the areas where it is mainly cultivated, the cereal makes use of natural water availability, which is otherwise not always adequately utilised, while at the same time creating a system with a fundamental ecological value.

The most critical aspects of the sustainable intensification of our country's rice production system are mainly related to water management, nitrogen fertilisation, the containment of pests and the mitigation of the risks of water contamination by pesticides and greenhouse gas emissions.

With reference to the use of water, great attention should be paid to maintaining a balanced ratio between the areas sown in flooded soil and those sown in dry soil, to ensure adequate water availability throughout the rice-growing area.

Particularly challenging in this crop is the management of pests, especially weeds and fungal diseases, which, in the absence of effective control, could even cause the total loss of production. To this end, it is necessary to resort to the adoption of techniques based on the combination of different possible control tools, agronomic, mechanical, physical, genetic and chemical, applying practices that can also guarantee health safety and limit environmental impact. With reference to the latter aspect, it is, for instance, possible to limit the contamination of surface water by plant protection products through the adoption of grassed buffer strips inserted between watercourses and treated surfaces, or by resorting to appropriate management of water circulation in the basins, so as to favour the degradation of the products themselves, after their application.

Greenhouse gas emissions can be significantly contained through the adoption of appropriate cultivation practices, such as dry sowing, autumn burial of crop residues and soil flooding in the winter period.

The adoption of appropriate agronomic choices and suitable operational practices, suggested by the research evidence, represent the fundamental condition for the rice farming productive intensification and for the achievement of high quality standards, while safeguarding environmental and health safety.

Keywords: *monoculture, pests, pesticides, resistance, water contamination, GHG, buffer strips*

Quadro della produzione e del mercato

Si stima che il riso sia la coltura che ha alimentato nel tempo il maggior numero di persone a livello globale. Circa la metà della popolazione mondiale e, in particolare quella asiatica, dipende da questa coltura per la propria nutrizione. Il cereale è coltivato nel mondo su una superficie di circa 163 milioni di ha, 422 mila dei quali in Europa.

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

Nella campagna produttiva del 2020 è stato coltivato su una superficie di 227.000 ha, prevalentemente localizzati nelle province di Pavia, Vercelli, Novara e Milano e ha fornito una produzione di 1.498.000 tonnellate alla raccolta, corrispondenti a 1.040.000 tonnellate di riso lavorato, destinate per il 38% al consumo nazionale, il 50% all'esportazione nei paesi UE e il 12 % nei paesi terzi (Tabelle 1 e 2), (Ente Nazionale Risi, 2021)

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 consentirne la 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 conseguente aumento delle dimensioni aziendali e della conseguente riduzione del numero di aziende. L'intera superficie risicola nazionale è attualmente organizzata in distretti risicoli e gestita da circa 3.800 aziende, con una superficie media di poco più di 60 ha e caratterizzate da un forte orientamento verso la monocoltura. 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.

Tabella 1. Superfici e produzioni unitarie medie di risone per tipologia merceologica.

Tipologia merceologica	Superficie coltivata (ha)	Produzione 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

Tabella 2. Produzioni ed esportazioni di riso (tonnellate x 1000)

Produzione risone	1.470.
Produzione riso lavorato	1.040.
Collocazione riso lavorato	
- Italia	395
- altri Paesi UE	520
- Paesi terzi	125

Il riso non è una commodity; è caratterizzato, infatti, da un mercato segmentato in relazione alle diverse tipologie varietali disponibili. E', anche, caratterizzato da un rapido rinnovo varietale mirato al miglioramento delle caratteristiche produttive, qualitative, di resistenza alle avversità, per soddisfare le esigenze agronomiche, dell'industria e del mercato.

Il complesso delle varietà, inquadrato secondo il Reg. UE 1308/2013 nelle classi di riso tondo, medio, lungo A e lungo B (Tabella 3), ha fatto rilevare un aumento tra il 2010 e il 2020 da 87 a 173 iscrizioni al Registro delle varietà.

Tabella 3. Classificazione nazionale ed europea delle varietà di riso ai sensi del Reg. UE 1308/2013

Classe	Lunghezza (mm)	Lunghezza/Larghezza	% superficie totale coltivata	Es. varietà
Tondo	<5,2	<2,0	30	Selenio, Centauro, Sole CL
Medio	≥5,2 ≤ 6,0	<3,0	4	Vialone nano, Venere, Maratelli
Lungo A	>6,0	>2,0 ≤3,0	47	Carnaroli, Baldo, Arborio, S. Andrea
Lungo B	>6,0	≥3,0	19	Gladio, CL 26, Sirio CL

Come previsto dal D.Lgs 131/2017 le varietà di riso lavorato possono essere poste sul mercato sulla base dell'inserimento in 3 tipologie commerciali: riso classico, riso tradizionale, riso generico, caratterizzate ciascuna da una specifica etichettatura.

Il riso classico riguarda un gruppo di 6 varietà indicate con la denominazione della varietà seguita dall'appellativo classico (Carnaroli classico, Baldo classico, Roma classico, Arborio classico, S. Andrea classico, Vialone Nano classico) e può essere utilizzato solo per le produzioni la cui tracciabilità è garantita dall'Ente Nazionale Risi. Il riso tradizionale si riferisce a gruppi di varietà (Carnaroli, Baldo, Roma, Arborio, S. Andrea, Vialone Nano, Ribe) alle quali è possibile attribuire la denominazione del capostipite di riferimento, per affinità, sulla base di una griglia di parametri qualitativi. Il riso generico comprende le varietà che non possono rientrare nelle due precedenti tipologie commerciali.

Sono anche offerti sul mercato risi nazionali DOP (riso di Baraggia Biellese e Vercellese) e IGP (Riso Nano Vialone Veronese, Riso del Delta del Po).

In questo quadro occorre anche ricordare il ruolo fondamentale dell'Ente Nazionale Risi (ENR) nel bilanciamento delle superfici da destinare alla coltivazione delle diverse varietà. L'ENR è un Ente pubblico-economico di filiera posto sotto la vigilanza del MIPAAF per la tutela della risicoltura italiana. Dispone di un Centro dedicato alla ricerca agronomica qualitativa e varietale e di un gruppo di tecnici dislocati su tutto il territorio risicolo, in grado di fornire un servizio di formazione e assistenza tecnica. Stila bilanci consuntivi e preventivi delle campagne di commercializzazione, fornendo ai diversi componenti della filiera informazioni aggiornate, utili al collocamento delle produzioni e alla scelta delle varietà da coltivare. Cura i necessari rapporti con gli organi pubblici nazionali europei ed internazionali, a difesa degli interessi di tutta la filiera risicola.

Sostenibilità agronomica e ambientale della coltivazione del riso

Gli aspetti più critici dell'intensificazione sostenibile del sistema produttivo risicolo del nostro paese sono prevalentemente legati alle elevate esigenze idriche, alla fertilizzazione azotata di precisione, alla gestione delle avversità e alla mitigazione dei rischi di contaminazione delle acque da prodotti fitosanitari e di emissione dei gas serra

Uso dell'acqua

Il riso richiede temperature comprese tra un minimo di 10° C ed un massimo di 32-33° C. In relazione a queste esigenze, la coltivazione del cereale è realizzata nei nostri ambienti nel periodo primaverile-estivo, con semina ad aprile-maggio e raccolta a settembre-ottobre. Durante gran parte del ciclo colturale il riso viene sottoposto a sommersione continua, allo scopo di limitare le oscillazioni termiche, soprattutto nelle fasi iniziali di sviluppo e durante la fioritura (Miniotti et al., 2016, Zampieri et al., 2019).

Il livello dell'acqua di sommersione varia in relazione allo stadio di sviluppo della coltura. Fino alla fase di accostamento, la profondità dell'acqua non è in genere, superiore a 5 cm, per non sfavorire la crescita iniziale del riso; dallo stadio di levata a quello di inizio maturazione il livello viene gradualmente innalzato fino ad una profondità di 12-15 cm.

Durante il ciclo colturale la risaia viene mantenuta, di tanto in tanto, asciutta per alcuni giorni, inizialmente allo scopo di favorire la radicazione e limitare lo sviluppo delle alghe, poi per permettere la distribuzione dei fertilizzanti e gli interventi di difesa della coltura.

Per la coltivazione del riso si rendono, in genere, necessari volumi di acqua stagionali compresi tra 18.000 m³/ha (nei terreni argillosi) e 40.000 m³/ha (nei terreni sciolti). Per queste sue elevate esigenze idriche al cereale vengono talvolta attribuiti insostenibili sprechi di acqua, tenuto conto che per altre importanti colture agrarie quali ad esempio soia e mais, non vengono generalmente superati volumi di 5.000-6.000 m³/ha. Al riguardo si può osservare che nei tipici areali di coltivazione italiani del riso l'acqua è naturalmente disponibile e che se non venisse utilizzata a questo scopo, sarebbe destinata ad un totale inutilizzo, con deflusso diretto verso il mare. Il sistema risicolo dell'areale piemontese-lombardo può essere considerato come un unico grande bacino in grado di contenere circa 5 miliardi di m³ di acqua, per il 60% derivati dai fiumi e il 40% da invasi per uso idroelettrico, laghi prealpini, acque di sommersione e falde freatiche. L'acqua derivata da fossi e rogge scorre lentamente in modo continuo all'interno delle camere e tra una camera e l'altra o si infiltra nel terreno, per poi riemergere, in parte, più a valle attraverso i fontanili, mediante un complesso sistema di vasi comunicanti, che consente un riciclo per circa 3 volte. La percolazione in profondità permette, anche, di alimentare le falde di un esteso territorio a valle dell'area risicola, con importanti vantaggi non soltanto per il settore agricolo, ma anche per quello civile ed industriale.

Su circa il 45% della superficie risicola del nostro paese la risaia viene sommersa già prima della semina (Fig. 1), effettuata a spaglio, in acqua; sulla restante superficie, dove la semina viene effettuata a file su terreno asciutto, il terreno viene sommerso soltanto a partire dalla 2a-3a foglia della coltura.



Figura 1. Semina del riso su terreno sommerso.

Su una superficie di poche migliaia di ettari la coltivazione viene effettuata ricorrendo ad interventi irrigui saltuari, per scorrimento o aspersione.

La diffusione della semina in asciutta, con sommersione ritardata è da porre in relazione ad una serie di vantaggi, legati alla presenza di un ambiente aerobico nelle prime fasi di sviluppo della coltura:

- possibilità di effettuare la semina su terreno asciutto con ruote gommate;
- migliore emergenza e radicazione della coltura;
- minor sviluppo di infestanti idrofile, quali ad esempio le eterantere;
- completo controllo delle alghe
- possibilità di impiego di diserbanti non adatti all'impiego nella coltura sommersa, con conseguente ampliamento del ventaglio di prodotti disponibili per la coltura.
- riduzione dell'altezza delle varietà a taglia alta, con limitazione del rischio di allettamento;

- contenimento dell'emissione di metano.

L'ulteriore diffusione della semina a file su terreno asciutto potrebbe, tuttavia, dar luogo a problemi di disponibilità idrica, verso la fine di maggio, quando, in breve arco temporale, si rende necessario disporre di notevoli volumi di acqua per sommergere le risaie, mantenute fino a quel momento asciutte. In queste condizioni oltre ad avere una scarsa disponibilità di acque di colatura e di fontanile, derivanti dalle risaie sommerse, i consorzi irrigui si troverebbero anche nella necessità di soddisfare le richieste di acqua per l'irrigazione di altre colture. Per queste ragioni è opportuno che le aree interessate dalla semina in acqua e in asciutta si mantengano in un rapporto equilibrato e, ove possibile, che le due tecniche di semina siano utilizzate sulle stesse superfici in modo alternato negli anni.

Gestione delle piante infestanti

Il controllo delle malerbe del riso costituisce una delle pratiche gestionali più impegnative e di maggior impatto sul risultato produttivo della coltura e sul rischio di contaminazione dell'acqua. La presenza di una vegetazione infestante, rappresentata da specie quali il riso crodo (*Oryza sativa*), i giavoni (soprattutto *Echinochloa* spp., *crus-galli*), le ciperacee (*Shoenoplectus mucronatus*, *Bolbochoenus maritimus*, *Cyperus difformis*) e le eterantere (*Heteranthera* spp.) favorite nella loro diffusione dalle condizioni di sommersione e della monosuccessione colturale è in grado di provocare, se non controllata, anche la totale perdita della produzione. La lotta contro queste piante viene comunemente effettuata combinando opportunamente diversi strumenti di lotta, agronomici, meccanici, fisici e chimici.

I mezzi agronomici, quali ad esempio il livellamento e la modalità di lavorazione del terreno e la regolazione del livello dell'acqua hanno il principale scopo di sfavorire lo sviluppo delle malerbe o creare le condizioni per facilitarne il controllo. La lotta meccanica può essere effettuata prevalentemente su terreno asciutto, mediante interventi di strigliatura a pieno campo o di sarchiatura tra le file della coltura. La lotta fisica, prevalentemente adottata nelle coltivazioni biologiche, è soprattutto rappresentata dalla pratica della pacciamatura verde, ottenuta mediante la semina di una coltura di copertura (es. vecchia vellutata, loietto italico) nel periodo autunno-invernale. Per consentire la semina del riso, questa viene poi devitalizzata mediante particolari rulli scanalati e lasciata sul terreno, per contenere lo sviluppo della vegetazione spontanea.

La lotta chimica, frequentemente combinata con l'adozione delle pratiche di lotta preventiva è basata sul ricorso agli erbicidi, disponibili in questi ultimi anni in numero sempre più ridotto a causa dei rischi di contaminazione ambientale.

I maggiori problemi nel controllo delle infestanti nel riso sono, oggi, prevalentemente legati alla lotta al riso crodo e alla gestione dei fenomeni di resistenza ai diserbanti.

Il riso crodo o riso a grana rossa è un'infestante appartenente alla stessa specie del riso coltivato, caratterizzata, in genere, da un maggiore sviluppo vegetativo e da una notevole capacità di disseminazione (crodata) (Ferrero et al., 2020). La lotta nei confronti di questa malerba, resa difficile dalle sue strette affinità botaniche con le varietà coltivate, può essere essenzialmente effettuata prima della semina o in presenza della coltura. Nel primo caso si ricorre frequentemente alla falsa semina, una tecnica che prevede la preparazione e la sommersione del terreno almeno 20 giorni prima della semina del riso, allo scopo di favorire l'emergenza del riso crodo e di altre malerbe e di permetterne, poi, la distruzione con mezzi chimici o meccanici. Contro la stessa infestante è altresì possibile intervenire mantenendo la risaia sommersa per 2-3 mesi durante il periodo invernale, allo scopo di stimolare la sua

germinazione e la successiva devitalizzazione ad opera delle basse temperature della stagione e di favorire l'attività predatoria della fauna acquatica nei confronti dei suoi semi.

Nel caso della lotta in presenza della coltura è possibile adottare la tecnologia Clearfield® e Provisia®, caratterizzata dall'impiego di varietà di riso create mediante interventi di mutagenesi e successiva selezione, in grado di tollerare specifici erbicidi (imazamox e ciclossidim, rispettivamente) non selettivi nei confronti delle tradizionali varietà di riso. Dopo la levata della coltura possono venire utilizzati con attrezzature a barra lambente prodotti sistemici ad azione graminicida o totale (glifosate) distribuiti direttamente sulle piante di riso crodo, di taglia superiore a quella delle varietà coltivate, evitando il contatto con quelle ultime.

La resistenza delle malerbe ai diserbanti è un fenomeno favorito dalla monosuccessione colturale e, soprattutto, dall'impiego ripetuto di erbicidi con meccanismo di azione simile (soprattutto inibitori degli enzimi ACCasi e ALS), prevalentemente dovuto alla limitata disponibilità di prodotti, determinata, in gran parte, dall'adozione di normative comunitarie sempre più restrittive, per quanto riguarda la sicurezza sanitaria ed ambientale. La resistenza, oggi diffusa sulla quasi totalità della superficie risicola del nostro paese, interessa alcune pericolose specie infestanti quali i giavoni (soprattutto *Echinochloa crus-galli* e *phyllopogon*), nei confronti dei diserbanti inibitori dell'enzima ALS e dell'ACCasi, di *Schoenoplectus mucronatus*, *Cyperus difformis*, *Alisma plantago-aquatica* e riso crodo, nei riguardi di erbicidi inibitori dell'ALS (Vidotto et al., 2020).

Le più efficaci pratiche di contenimento di questo fenomeno si basano sull'adozione integrata di mezzi agronomici, colturali e chimici, quali la rotazione colturale (quando possibile), l'alternanza di modalità di semina in acqua e in asciutta, la falsa semina, l'uso di sementi certificate (esenti da semi di malerbe), la rotazione e l'uso in miscela di erbicidi con diverso meccanismo d'azione. E' 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 contrastare la diffusione delle resistenze, in questi ultimi anni si è fatto sempre più frequentemente ricorso a richieste di autorizzazione temporanea (4 mesi), di prodotti esclusi dal mercato (es. pretilachlor, napropamide, benzobicyclon), prevista dalle normative comunitarie per far fronte ad emergenze fitosanitarie.

Gestione delle malattie fungine e nematodi

Il brusone (*Pyricularia oryzae*) è sicuramente la principale fitopatia da affrontare nella coltivazione del riso. Gran parte delle varietà coltivate in Italia comprese quelle tradizionali (es. Carnaroli, Vialone Nano) risultano da mediamente ad altamente sensibili alla malattia.

E' possibile contenere i danni mantenendo una corretta densità di semina, evitando un eccessivo apporto di azoto, riducendo la durata delle asciutte. Sicuramente la miglior efficacia nella lotta contro questa malattia può essere ottenuta ricorrendo ad interventi con specifici fungicidi appartenenti alla famiglia dei triazoli e delle strobilurine, con rischi, soprattutto per queste ultime, di induzione di fenomeni di resistenza (Tenni et al., 2021). In queste condizioni risulta fondamentale sviluppare varietà adatte alle esigenze del mercato dotate di resistenza genetica alla malattia

Nel riso sono stati identificati più di 100 geni di resistenza verso questa malattia e poco più di 20 di questi sono stati clonati. Malgrado questa ampia disponibilità, la diversificazione patogenetica dell'agente della malattia rende necessari sforzi continui rivolti alla identificazione di nuove fonti di resistenza. A questo scopo nel nostro Paese sono stati

sviluppati degli studi per la creazione di varietà resistenti seguendo approcci genetici/genomici e di miglioramento genetico basati su tre diverse linee operative:

- Individuazione di geni di resistenza in varietà di riso straniere efficaci nel controllo dei ceppi del patogeno presenti nelle zone di coltivazione nazionali e loro utilizzo in processi di miglioramento genetico assistito da marcatori molecolari (Tacconi et al., 2010). Mediante questi approcci alcuni di questi geni di resistenza sono stati introdotti nel background genetico di varietà tradizionali sensibili utilizzando un approccio di “gene pyramiding” che, mediante la introduzione di più di un gene di resistenza nella medesima linea, consente di ottenere resistenze più durature nel tempo.
- Individuazione di nuovi geni di resistenza presenti nel germoplasma di riso adattato alla coltivazione nei nostri areali. Per tale scopo sono stati utilizzati sia approcci di mappaggio per associazione (genome wide association study - GWAS) in collezioni di germoplasma (Volante et al., 2020), che approcci di linkage mapping basati su popolazioni biparentali (Urso et al., 2016). Quest’ultimo approccio ha ad esempio consentito di verificare che la resistenza di una varietà antica (Gigante Vercelli) che possiede una resistenza efficace verso la malattia da più di 70 anni è dovuta a due geni di resistenza “inconsciamente” inseriti durante la sua costituzione.
- Isolamento e caratterizzazione di geni di resistenza identificati come efficaci nel controllo del brusone. Tale attività consente di indagare le basi molecolari implicate in resistenze durevoli e ad ampio spettro.

Un’altra importante avversità biotica è rappresentata dal *Meloidogyne graminicola*, un nematode esotico in grado di attaccare l’apparato radicale del riso, provocando perdite di produzione anche superiori all’80 %.

Comparso inizialmente in alcune risaie vercellesi e biellesi si è gradualmente esteso anche al territorio pavese. Gli interventi di contrasto e di eradicazione si basano sulla sommersione del terreno in assenza di coltura o sul ricorso ad un ciclo di coltivazione “trappola” del riso (trap crop) da destinare alla distruzione, prima della sua normale coltivazione

Riduzione delle emissioni di gas serra

Nonostante sia in grado di accumulare grandi quantità di carbonio, soprattutto negli orizzonti sottosuperficiali, la risaia è responsabile della emissione in atmosfera di significative quantità di gas serra in particolare di metano (CH₄) e protossido di azoto (N₂O), due gas con un potenziale di riscaldamento globale (Global Warming Potential – GWP) rispettivamente pari a 25 e 298 volte quello della CO₂.

Le emissioni di metano nelle risaie sono prevalentemente legate ai processi di degradazione della sostanza organica nei terreni sommersi. I composti organici, rappresentati in risaia principalmente dai residui colturali e, quando disponibile, anche dal letame, conduce in condizioni di anaerobiosi all’attivazione del processo di metanogenesi, con produzione di metano e anidride carbonica, in parti all’incirca uguali. Rispetto alla semina in acqua, la semina interrata, seguita dalla sommersione a partire dalla 2°-3° foglia della coltura o dalla irrigazione turnata, consente di limitare sensibilmente le emissioni di metano (Peyron et al., 2016).

La produzione di protossido di azoto, al contrario, risulta favorita dalle condizioni di aerobiosi tipiche della risaia non sommersa e dall’apporto di azoto minerale.

L’adozione di alcune pratiche agronomiche, quali la semina in asciutta e le tecniche di “alternate wetting and drying” (Mazza et al., 2016), l’impiego di fertilizzanti contenenti zolfo, l’interramento autunnale dei residui colturali e la sommersione del terreno nel periodo invernale

hanno fatto rilevare una significativa riduzione delle emissioni di gas climalteranti (Bertora et al., 2018)

Mitigazione del rischio di contaminazione delle acque superficiali da prodotti fitosanitari

L'impiego dei prodotti fitosanitari per la difesa della coltura può dar luogo alla contaminazione diretta o indiretta dei corpi idrici del sistema risicolo. La prima è principalmente dovuta a non corrette pratiche operative durante o dopo l'applicazione dei prodotti (deriva della nube irrorante, lavaggio delle attrezzature, scarico delle rimanenze). La contaminazione indiretta è legata in gran parte a fenomeni di ruscellamento sulla superficie del terreno delle risaie dopo la distribuzione ad opera delle acque di irrigazione e meteoriche. La contaminazione è favorita dal fatto che le acque utilizzate per la sommersione delle risaie sono in diretto contatto con quelle della rete idrica (rogge e fossi)

Le soglie di contaminazione stabilite a livello europeo nell'ambito della Direttiva Quadro sulle acque (2000/60/CE) e delle normative ad essa collegate variano leggermente a seconda che si tratti di acque profonde o superficiali. Per le prime la soglia è di 0,1 µg/L per ogni singola sostanza e di 0,5 µg/L per l'insieme delle sostanze presenti, mentre per quelle superficiali si fa riferimento a questi valori e agli standard di qualità ambientale (SQA) stabiliti in ambito nazionale ed europeo per alcune sostanze.

In relazione a tali aspetti risulta fondamentale mettere in atto misure idonee a mitigare il rischio di ogni possibile forma di contaminazione.

I rischi legati ai fenomeni di deriva possono essere adeguatamente contenuti mediante una corretta applicazione dei prodotti fitosanitari, ricorrendo all'utilizzazione di ugelli antideriva e adottando appropriati parametri operativi quali ad esempio quelli relativi alla pressione di esercizio, al volume di acqua utilizzata e alla velocità di avanzamento.

Fondamentali per il contenimento della contaminazione diretta sono anche gli spazi interposti tra i corsi d'acqua e le superfici trattate, rappresentati dalle aree di rispetto e dalle fasce tampone inerbite (Fig. 2) (Ferrero et al., 2016). Nell'ambiente di risaia questi spazi possono anche essere costituiti da argini di adeguata ampiezza mantenuti ricoperti da vegetazione permanente erbacea ed anche arborea. Possono anche essere rappresentati dalle aree destinate alla circolazione dei mezzi meccanici utilizzati per le diverse operazioni colturali nel sistema della risaia (lavorazione del terreno, concimazioni, distribuzione dei prodotti fitosanitari, ecc.).

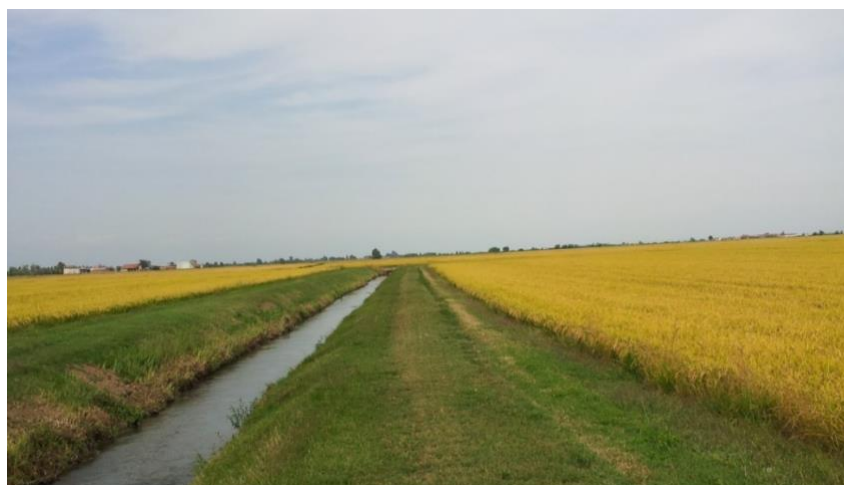


Figura 2. Fascia inerbita interposta tra le camere di risaia e il corso acqua per la mitigazione del rischio di contaminazione da prodotti fitosanitari.

Tenuto conto che la maggior parte delle sostanze utilizzate in risaia, quali ad esempio i diserbanti, subiscono una forte degradazione già nei primi 7-10 giorni dopo la loro applicazione, per contenere il rischio di contaminazione delle acque, dopo l'applicazione dei prodotti, è opportuno interrompere la circolazione dell'acqua durante questo periodo di tempo per favorire la degradazione dei residui degli stessi prodotti. Nel caso dei trattamenti effettuati sui terreni sgrondati, è altresì necessario risommergere le camere di risaia immettendo l'acqua molto lentamente, in modo da evitare il trasporto e l'accumulo dei residui dei prodotti fitosanitari in prossimità delle bocchette di uscita delle risaie.

Presenza nella granella di contaminanti inorganici

Nella granella di riso possono essere rilevate quantità variabili di contaminanti, quali, in particolare, arsenico e cadmio, assorbiti dal terreno, nel quale possono essere presenti come costituenti naturali o attraverso l'apporto dei fertilizzanti che li contengono come impurezze. A differenza del cadmio che tende a distribuirsi nell'endosperma, nello strato aleuronico e nei rivestimenti esterni dei granelli, l'arsenico si accumula prevalentemente in questi ultimi.

I limiti massimi ammessi a livello comunitario nel riso bianco sono:

- per gli adulti: arsenico inorganico 0,20 mg/kg nel riso bianco e 0,25 mg/kg nel riso parboiled e integrale; cadmio 0,15 mg/kg.
- per l'infanzia: arsenico inorganico 0,10 mg/kg; cadmio 0,040 mg/kg.

I frequenti monitoraggi condotti dall'Ente Nazionale Risi hanno posto in evidenza che le produzioni di riso nel nostro paese rispettano ordinariamente i limiti di sicurezza per il cereale, stabiliti per entrambi i metalli dalle normative sanitarie europee.

Il contenuto di arsenico e cadmio nel riso può variare in relazione alle modalità di gestione dell'acqua

durante la coltivazione e alla lavorazione industriale a cui è sottoposto il riso. In generale, le condizioni di sommersione favoriscono l'accumulo nei granelli di riso dell'arsenico inorganico e limitano quelle del cadmio. Per tali ragioni, quindi, il sistema di semina in asciutta, con sommersione ritardata o con irrigazione turnata riduce la presenza dell'arsenico e aumenta quella del cadmio. Il riso sottoposto a sbiancatura contiene comunemente il 30% in meno di entrambi i metalli rispetto al riso integrale (Fontanella et al., 2021)

Ulteriori possibili sviluppi dell'intensificazione sostenibile

Alla luce degli attuali indirizzi politici a livello comunitario e nazionale sui temi ambientali, si ritiene che l'intensificazione sostenibile della produzione risicola possa essere perseguita attraverso l'aumento della produttività, il miglioramento della sostenibilità ambientale, lo sviluppo innovativo di nuovi prodotti e di linee etiche (es. prodotti a minor impiego di input esterni all'azienda o a residuo zero).

L'aumento della produttività potrebbe essere conseguito attraverso l'introduzione di varietà ibride in grado di fornire livelli produttivi del 20-40% superiori a quelli ottenuti con le varietà tradizionali. Può essere ottenuto anche mediante l'adozione di pratiche agronomiche più efficienti, che consentono di ridurre il gap tra i valori delle produzioni attualmente ottenute e quelle potenziali, risultanti dalle prove sperimentali delle varietà già in commercio.

Particolarmente significativi sono, in questo quadro anche i vantaggi derivanti dall'adozione delle tecniche di minima lavorazione e del sovescio con leguminose. Come

dimostrato dalle tecniche di *shovelomics* e di analisi delle immagini, gli effetti favorevoli di queste pratiche sono da porre in relazione sia con la specifica architettura degli apparati radicali delle varietà di riso utilizzate, sia, anche, con le comunità microbiche ad essi associate.

Il miglioramento dell'efficienza produttiva può essere ottenuto anche attraverso un più razionale apporto e miglioramento dell'efficienza di utilizzazione dei nutrienti, in particolare dell'azoto. Nel riso, così come in molte altre colture, i fertilizzanti azotati vengono comunemente somministrati in modo frazionato, distribuendo 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.

E' possibile, a questo riguardo, ricorrere a tecniche di fertilizzazione azotata di precisione, nota anche come sito-specifica, basate sulla differenziazione della distribuzione, in copertura, del fertilizzante sulla base della variabilità spaziale dello stato nutrizionale della coltura.

Questa tecnica prevede la creazione di mappe di prescrizione georeferenziate secondo una griglia spaziale con maglie di poche decine di m², in relazione ai diversi livelli di produzione rilevati nella stagione colturale precedente o, più correttamente, in tempo reale, sulla base del vigore vegetativo del riso nel momento stesso in cui viene realizzata la concimazione di copertura. Attraverso queste informazioni è possibile differenziare la distribuzione del fertilizzante, ricorrendo ad attrezzature spandiconcime, già diffuse nelle aziende risicole, in grado di distribuire quantitativi più elevati o più ridotti 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. Infine, caratteri che possono aumentare l'efficienza d'uso dell'azoto fino al 30% sono stati identificati grazie ad analisi genetiche, aprendo la strada ad interventi di miglioramento che, congiuntamente agli altri approcci sopra indicati, possono portare ad un migliore utilizzo e ad una riduzione del suo apporto in risaia, un aspetto che potrebbe mitigare l'impatto negativo del recente sostanziale aumento dei prezzi dei fertilizzanti azotati.

Conclusioni

La coltura del riso ricopre un ruolo di primo piano nell'economia agricola del nostro Paese. Fornisce, infatti, una produzione di riconosciuta qualità, destinata per circa il 60% all'esportazione. Nei territori in cui è principalmente coltivato, il cereale consente di valorizzare le abbondanti disponibilità idriche naturali non altrimenti utilizzabili in modo adeguato, creando, nel contempo, un sistema caratterizzato da una fondamentale valenza ecologica.

La risicoltura è connotata anche da un elevato grado di specializzazione, da una forte spinta verso la meccanizzazione e da uno spiccato orientamento verso la monocoltura. Può essere considerata un sistema di coltivazione intensivo sostenibile, organizzato in distretti agroindustriali, finalizzati all'innalzamento dei livelli qualitativi e produttivi oltre che alla salvaguardia della sicurezza ambientale e sanitaria.

Sempre più frequentemente si assiste ad uno sforzo congiunto di tutti i principali componenti della filiera risicola per il raggiungimento di questi obiettivi, non sempre facilmente conciliabili tra di loro.

Ne è una dimostrazione il successo ottenuto in questi ultimi anni dalla piattaforma SAIRISI, un'iniziativa sviluppata da importanti gruppi internazionali della GDO unitamente all'Ente Nazionale Risi, all'industria alimentare e di lavorazione del riso, finalizzata alla

formazione tecnica dei risicoltori nell'ambito delle numerose sfide legate alle problematiche colturali, ambientali e commerciali che si trovano a dover affrontare i diversi componenti della filiera risicola.

Bibliografia

- Bertora C., Cucu M.A., Lerda C., Peyron M., Bardi L., Gorra R., Sacco D., Celi L., Said-Pullicino D., 2018. Dissolved organic carbon cycling, methane emissions and related microbial populations in temperate rice paddies with contrasting straw and water management. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 265 (2018) 292-306.
- Ente Nazionale Risi, 2021. Superfici investite a riso nel 2020 http://www.enterisi.it/servizi/bilanci/bilanci_fase01.aspx?Campo_15868=10
- Ferrero A., Milan M., Fogliatto S., De Palo F., Vidotto F., 2016. Ruolo della gestione dell'acqua in risaia nella mitigazione del rischio di contaminazione delle acque superficiali da prodotti fitosanitari. *ATTI Giornate Fitopatologiche*, 2016, 2, 37-46
- Ferrero A., Fogliatto S., Barberi A., Vidotto F., 2020. Relationship between weedy rice (*Oryza sativa*) infestation level and agronomic practices in Italian rice farms. *Weed Sci.* doi: 10.1017/wsc.2020.85.
- Fontanella M.C., Martin M., Tenni D., Beone G.M., Romani M., 2021. Effect of milling and parboiling processes on arsenic species distribution in rice grains. *Rice Science*, 2021, 28 (4), 402-408.
- Mazza G., Agnelli A.E., Orasen G., Gennaro M., Valè G., Lagomarsino A., 2016 Reduction of Global Warming Potential from rice under alternate wetting and drying practice in a sandy soil of northern Italy. *Italian Journal of Agrometeorology*, 21(2): 35-44.
- Miniotti E., Romani M., Said-Pullicino D., Facchi A., Bertora C., Peyron M., Sacco D., Bischetti G.B., Lerda C., Tenni D., Gandolfi C., Celi L., 2016. Agro-environmental sustainability of different water management practices in temperate rice agro-ecosystems. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 222 (2016) 235-248)
- Peyron M., Bertora C., Pelissetti S., Said-Pullicino D., Celi L., Miniotti E., Romani M., Sacco D., 2016. Greenhouse gas emissions as affected by different water management practices in temperate rice paddies. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 232 (2016) 17-28.
- Tacconi G., Baldassarre V., Lanzanova C., Faivre-Rampant O., Cavigliolo S., Urso S., Lupotto E., Valè G., 2010. Polymorphism analysis of genomic regions associated with broad-spectrum effective blast resistance genes for marker development in rice. *Molecular Breeding*, 26:595-617.
- Tenni D., Sinetti A., Waldner M., Torriani S.F.F., Romani M., 2021. First report of Qol resistance in Italian population of *Pyricularia oryzae*. *Journal of Plant Diseases and Protection*. <https://doi.org/10.1007/s41348-021-00494-3>
- Urso S., Biselli C., Desiderio F., Bagnaresi P., Crispino L., Piffanelli P., Abbruscato P., Assenza F., Guarnieri G., Cattivelli L., Valè G., 2016. Genetic analysis of durable resistance to *Magnaporthe oryzae* in the rice accession Gigante Vercelli identified two blast resistance loci. *Molecular Genetics and Genomics*, 291:17-32.
- Vidotto F., Dalla Valle N., Fogliatto S., Milan M., De Paolo F., Tabacchi M., Ferrero A., 2020. Rapid increase of herbicide resistance in *Echinochloa* spp. consequent to repeated applications of the same herbicides over time. *Archives of Agronomy and Soil Science*, DOI: 10.1080/03650340.2020.1741554
- Volante A., Tondelli A., Desiderio F., Abbruscato P., Menin B., Biselli C., Casella L., Singh N., McCouch S.R., Tharreau D., Zampieri E., Cattivelli L., Valè G., 2020. Genome wide association studies for japonica rice resistance to blast in field and controlled conditions. *Rice* 13:71.
- Zampieri M., Ceglar A., Manfron G., Toreti A., Duveiller G., Romani M., Rocca C., Soccimarro E., Podrascanin Z., Djurdjevic V., 2019. Adaptation and sustainability of water management for rice agriculture in temperate regions: the Italian case-study. *Land Degradation and Development*. 2019;30:2033-2047

Intensificazione sostenibile nella filiera suinicola

Galassi G.¹, Bechini L.¹, Bontempo V.², Corino C.³, Dinuccio E.⁴, Rebucci R.²; Provolo G.¹

¹Dipartimento di Scienze Agrarie e Ambientali - Produzione, Territorio, Agroenergia - Università degli Studi di Milano.

²Dipartimento di Scienze Veterinarie per la Salute, la Produzione Animale e la Sicurezza Alimentare “Carlo Cantoni” - Università degli Studi di Milano.

³Dipartimento di Medicina Veterinaria - Università degli Studi di Milano.

⁴Dipartimento di Scienze Agrarie, Forestali e Alimentari - Università degli Studi di Torino.

Riassunto

La filiera suinicola italiana, basata sull'allevamento del suino pesante destinato alla produzione del prosciutto crudo a denominazione di origine protetta (DOP) e solitamente legata ad allevamenti intensivi, richiede tecniche produttive e alimentari specifiche. Anche per la sua sostenibilità sono richieste attenzioni che possono differire da quanto accade all'estero. In ogni caso, la sostenibilità di questa filiera, che non può prescindere da un alto livello di intensivizzazione, deve garantire il benessere animale, il contenimento dei consumi energetici e delle emissioni di sostanze nocive, anche attraverso l'impiego di strutture adeguate.

Altro punto importante per la sostenibilità degli allevamenti è la gestione degli effluenti zootecnici soprattutto in relazione alla emissione in atmosfera di ammoniaca o di altri gas nocivi e alle possibili contaminazioni con inquinanti, in particolare azoto (N) nitrico e fosforo (P), delle acque superficiali e profonde. Per raggiungere tale scopo, oltre all'adozione di un corretto piano di concimazione, possono essere adottate diverse pratiche di gestione (es. separazione solido-liquido, interrimento degli effluenti) che sono passate qui brevemente in rassegna.

L'intensificazione sostenibile in allevamento passa certamente dalle tecniche alimentari. Nelle fasi di svezzamento dei suinetti il fenomeno dell'antibiotico resistenza è un argomento che richiede approfondimenti su aspetti legati alla gestione degli animali d'allevamento quali la dieta, la salute intestinale e la microflora. La nutrizione gioca un ruolo chiave mediante interventi in grado di promuovere il corretto sviluppo dell'apparato gastro-enterico per mantenere gli animali in uno stato di salute ottimale al fine di garantire maggior efficienza produttiva. In modo ancora più direttamente collegato alle tecniche alimentari, il miglioramento della sostenibilità degli allevamenti può passare da restrizioni proteiche delle diete, rispetto a quanto spesso accade in allevamento, che potrebbero essere applicate soprattutto per le fasi finali d'ingrasso e per le nuove genetiche allevate. Sicuramente è possibile ridurre la presenza della farina di estrazione di soia nelle razioni per suini all'ingrasso, migliorando sia le escrezioni di azoto sia lo spessore del grasso di copertura delle cosce. In pratica, migliorerebbe la sostenibilità della produzione di prosciutto crudo abbassando i costi di alimentazione.

La produzione principale della filiera in oggetto è relativa a prodotti di salumeria di qualità che richiedono specifiche caratteristiche del tessuto muscolare e adiposo. Per rendere attuabili i cambiamenti alimentari o genetici che potrebbero migliorare la sostenibilità della filiera produttiva devono anche essere valutate le caratteristiche finali della carne. La ricerca deve quindi considerare anche questo aspetto per definire le strategie attuabili per migliorare la sostenibilità e perciò rendere possibile l'intensificazione degli allevamenti.

Abstract

The Italian pig production chain, based on the breeding of heavy pigs intended for the production of raw ham with a protected designation of origin and usually linked to intensive farming, requires specific production and food techniques. Therefore, attention is also required for its sustainability, which may differ from what happens abroad. In any case, the sustainability of this supply chain, which cannot be separated from a high level of intensification, must guarantee animal welfare, containment of energy consumption and emissions of harmful substances, also through the use of adequate structures.

Another important point for the sustainability of farms is the management of livestock effluents, especially in relation to the emission of ammonia or other harmful gases into the atmosphere and possible contamination with pollutants, in particular nitric nitrogen and phosphorus, of surface and deep waters. For this purpose, besides compiling a nutrient management plan, various management practices can be applied to increase nutrient use efficiency that are shortly described in this review.

Sustainable intensification on the farm certainly passes through food techniques. In the initial stages of the production cycle, with the pig in the weaning phase, the phenomenon of antibiotic resistance is a topic that requires in-depth studies on aspects related to the management of farm animals such as diet, intestinal health and microflora. Nutrition plays a key role through interventions capable of promoting the correct development of the gastro-enteric system starting from the early stages of the animal's life to keep the animals in an optimal state of health in order to ensure greater production efficiency. Even more directly linked to feed techniques, the sustainability of farms can pass from protein restrictions in diets, compared to what often happens on farms, which could be applied especially for the final fattening stages and for new genetics reared. It is certainly possible to reduce the presence of soybean meal in rations for fattening pigs. A reduction in protein levels in finishing diets can improve both nitrogen excretions and the thickness of the fat covering the legs with a reduction in seasoning losses. In practice it would improve the sustainability of raw ham production by lowering feed costs.

The main production of the supply chain in question relates to quality charcuterie products that require specific characteristics of muscle and adipose tissue. To make food or genetic changes feasible that could improve the sustainability of the production chain, the final characteristics of the meat must also be evaluated. Therefore, research must also consider this aspect to define feasible strategies to improve sustainability and therefore make it possible to intensify farms.

Parole chiave: *sostenibilità, gestione effluenti, riduzione antibiotico, escrezione azoto, filiera suinicola, emissioni, azoto, fosforo*

Inquadramento della filiera

La suinicoltura italiana, basata su sistemi produttivi intensivi, continua a vivere momenti difficili, compressa da un lato dai costi di produzione (in particolare per l'alimentazione) sempre più alti e dall'altro lato da un andamento dei prezzi della carne sempre più in balia degli eventi internazionali quali la concorrenza di carni provenienti dall'estero e le epidemie che sempre di più superano i confini nazionali. La necessità di adeguarsi alle indicazioni della UE in relazione alla sostenibilità ambientale e tutela del benessere animale, recepite a livello nazionale, rendono la sostenibilità economica delle aziende suinicole italiane ancora più precaria. Inoltre, la maggior parte dei nostri suini è allevata per la produzione dei prosciutti DOP, con esigenze tecniche quali stabulazione all'ingrasso per lungo periodo, razionamento alimentare, macellazione a pesi elevati, divieto di impiego di diverse materie prime, che fanno ulteriormente lievitare i costi di produzione. Nonostante ciò i dati Eurostat, riportano un patrimonio suinicolo nazionale ancora superiore a 8,5 milioni di capi, in leggero aumento rispetto agli ultimi anni.

Sempre nella prospettiva di mantenere la qualità dello straordinario prodotto finale dei nostri allevamenti, alcuni aspetti (oggetto di questa relazione) da affrontare, per ottemperare alle indicazioni volte al miglioramento della sostenibilità ambientale e del benessere animale, fanno riferimento: i) alle strutture per la stabulazione degli animali, ii) alla produzione e

gestione dei reflui zootecnici, iii) agli effetti che questi hanno sul suolo, iv) alla riduzione di impiego degli antibiotici in allevamento, v) alla riduzione dell'escrezione di azoto, vi) all'impatto dei cambiamenti sulla qualità del prodotto finale.

Elementi di criticità della filiera e proposte per il loro superamento

i) Il ruolo delle strutture nella sostenibilità della filiera del suino

Nell'ambito della filiera del suino le strutture di stabulazione hanno una notevole influenza sulla sostenibilità dell'allevamento. I principali aspetti da considerare riguardano: la capacità della struttura di mantenere adeguate condizioni ambientali per assicurare il benessere dei suini nelle diverse condizioni; il contenimento dei consumi energetici; le emissioni in aria di sostanze nocive e il controllo della loro concentrazione all'interno dell'edificio in modo da salvaguardare la salute degli addetti, oltre che degli animali.

Le richieste dal punto di vista ambientale dei suini variano in relazione alla tipologia di allevamento e allo stadio di accrescimento con temperature ottimali che vanno da valori di 32-34°C dei suinetti nei primi giorni di vita a valori inferiori ai 20°C degli animali adulti. Nelle condizioni climatiche della Pianura Padana è necessario prevedere un sistema di riscaldamento per i reparti maternità e per i suinetti nella prima fase di accrescimento. In questi reparti è opportuno anche controllare il ricambio dell'aria per mezzo di ventilatori. Per gli animali all'ingrasso il calore prodotto dagli animali è sufficiente a mantenere condizioni adeguate nel periodo invernale se l'edificio è adeguatamente isolato. Sta invece diventando sempre più critica la condizione estiva in cui la temperatura è più alta del limite superiore di termoneutralità e la ventilazione non è in grado di mitigare l'incremento di temperatura nella zona di stabulazione dovuta al calore emesso dagli animali. In queste condizioni è necessario ricorrere a sistemi attivi di raffrescamento dell'aria.

L'edificio nel suo complesso influenza le condizioni ambientali interne non solo in relazione al suo isolamento termico, ma anche per i materiali, le aperture, l'orientamento e la pendenza del tetto in quanto influenzano direttamente la ventilazione naturale e lo scambio di calore. Un edificio ben progettato è quindi il primo passo per una riduzione dei consumi energetici.

Questi, se riferiti in modo specifico alla stabulazione, sono riconducibili a: riscaldamento, ventilazione e illuminazione. Una indagine nelle porcilaie del territorio della Pianura Padana svolta dal CRPA (Rossi et al., 2011), mette in evidenza come i consumi energetici legati alla ventilazione rappresentano il 50% dei consumi elettrici complessivi (compresa l'alimentazione e la gestione degli effluenti). I consumi elettrici complessivi dell'allevamento da riproduzione risultano mediamente di 150-240 kWh/scrofa mentre per quello da ingrasso di 15-30 kWh/capo all'anno (De Corato et al., 2014; Pirlo et al., 2016). I consumi di energia termica relativi alla sola riproduzione e svezzamento sono dell'ordine dei 300 kWh/scrofa, ma con ampia variabilità (De Corato et al., 2014).

La tipologia di stabulazione e la modalità di rimozione degli effluenti all'interno della stalla influenzano anche le emissioni in aria. I principali gas da considerare riguardano l'ammoniaca, l'anidride carbonica e l'acido solfidrico. La valutazione deve essere effettuata tenendo conto sia dei flussi di gas emessi che vengono trasportati all'esterno dell'edificio con l'aria di ventilazione, sia delle concentrazioni di gas che si riscontrano nella zona di stabulazione degli animali e di lavoro degli addetti. A esempio, per l'ammoniaca si possono

riscontrare valori di concentrazioni superiori a 50 ppm quando il valore limite per esposizioni di 8 ore è di 20 ppm. Inoltre, si deve considerare che l'esposizione prolungata degli animali a concentrazioni anche più contenute (10-15 ppm) può portare a malattie respiratorie croniche che riducono il benessere e la produttività degli animali (Ulens et al., 2014; 2000/39/CE).

Il primo passo verso la sostenibilità delle strutture per l'allevamento dei suini è una progettazione attenta agli aspetti ambientali ed energetici. Il rispetto delle condizioni di benessere degli animali e dei lavoratori deve essere un prerequisito irrinunciabile. Un edificio correttamente progettato per garantire un ambiente confortevole per gli animali e gli addetti deve tener conto anche del risparmio energetico e quindi basarsi su sistemi passivi di mantenimento della temperatura interna grazie a isolamento e inerzia termica. Inoltre, si devono utilizzare tecniche di difesa dal caldo basate sull'aumento dell'albedo e l'ombreggiamento (a esempio con alberature sul lato sud dell'edificio). L'obiettivo dal punto di vista energetico è quello di realizzare strutture a bilancio neutrale per quanto riguarda gas ad effetto serra.

Si può considerare che la produzione di energia elettrica annua ottenibile installando pannelli fotovoltaici (il cui costo ambientale è notevolmente diminuito), stimabile prudenzialmente in 100 kWh per metro quadrato di pannello, consentirebbe di coprire il fabbisogno di energia elettrica nella maggior parte degli allevamenti, soprattutto se i sistemi passivi di controllo delle alte e basse temperature sono correttamente progettati e vengono introdotti impianti a basso consumo energetico (a esempio illuminazione con luce led e sistema di ventilazione controllato da inverter). Si tenga conto che la superficie complessiva per capo da ingrasso è di circa 1,5 m² e quella per una scrofa di circa 4 m². Di conseguenza l'installazione di pannelli fotovoltaici su una falda potrebbero garantire l'autosufficienza energetica. I consumi di energia termica per il riscaldamento potrebbero essere compensati dallo sfruttamento energetico degli effluenti.

Per quanto riguarda le emissioni di gas dalla stabulazione, sono state messe a punto diverse tecniche di stabulazione e rimozione delle deiezioni che consentono riduzioni significative delle emissioni di ammoniaca. Le tecniche che prevedono la riduzione della superficie delle vasche sotto pavimento fessurato e prevedono la rimozione frequente delle deiezioni possono consentire riduzioni fino al 40-45% delle emissioni. La riduzione sale al 60% con acidificazione e all'80% con trattamento dell'aria (Santonja et al., 2017). Quest'ultima tecnica può essere efficacemente abbinata anche a sistemi di raffrescamento dell'aria mediante evaporazione di acqua mediante nebulizzazione, irrorazione o passaggio su pannelli evaporativi (Santonja et al., 2017).

In ogni caso, la concentrazione di gas all'interno dell'edificio deve essere tenuta sotto controllo mediante una adeguata ventilazione naturale, se possibile, o artificiale. Lo sviluppo di sistemi di misura della qualità dell'aria a basso costo può consentire l'introduzione di sistemi automatici di controllo della ventilazione per mantenere le concentrazioni di gas nocivi a valori ottimali.

ii) Gestione degli effluenti zootecnici

I reflui prodotti dagli allevamenti di suini contengono importanti quantitativi di sostanza organica ed elementi minerali utili per la nutrizione delle colture. Tuttavia, la ridotta concentrazione di unità fertilizzanti per unità di massa rende le fasi di trasporto e di distribuzione in campo particolarmente onerose. Altri aspetti negativi connessi alla gestione dei reflui zootecnici riguardano le potenziali elevate emissioni in atmosfera di ammoniaca (NH₃) e

gas a effetto serra (protossido di azoto - N_2O , metano - CH_4), oltre a possibili squilibri nella disponibilità dei nutrienti (in particolare fosforo e azoto) e il loro eventuale trasferimento dal suolo alle acque. Le emissioni di NH_3 sono fonte di particolare preoccupazione, in quanto danno origine a diversi fenomeni inquinanti, quali la formazione di polveri sottili (particelle con diametro inferiore a $2,5 \mu m$, $PM_{2.5}$), l'acidificazione dei suoli e l'eutrofizzazione delle acque superficiali. Il particolato atmosferico, noto come PM_{10} e $PM_{2.5}$ a seconda della sua dimensione, penetra agevolmente nel sistema respiratorio umano e, nel caso di quello più fine, dai polmoni passa anche al sistema circolatorio, con effetti sulla salute dell'uomo sia a breve sia a lungo termine.

L'impiego di idonee strategie di gestione degli effluenti di allevamento può consentire non solo di ovviare a tali problematiche, ma anche di incrementare il loro valore fertilizzante. In particolare, va sottolineato che l'azoto in forma ammoniacale è prontamente disponibile per le colture e pertanto le perdite di NH_3 rappresentano dal punto di vista agronomico un mancato apporto alle colture, che andrà ripristinato con altre concimazioni.

Gli effluenti prodotti costituiscono una risorsa che spesso non viene adeguatamente sfruttata dagli allevatori. Infatti, la maggior parte delle aziende non effettua trattamenti degli effluenti e si limita a distribuirli in campo dopo una fase di stoccaggio.

L'opportunità di utilizzare opportuni trattamenti per modificare le caratteristiche degli effluenti deriva da diverse motivazioni che vanno dal miglioramento della gestione alla necessità di ridurre il carico di azoto sui terreni aziendali per rispettare i limiti normativi e agronomici. Inoltre, il contenuto di energia contenuto negli effluenti può essere opportunamente valorizzato per ottenere energie rinnovabili.

Il trattamento degli effluenti

Tra le tecniche che possono essere utilizzate per trattare gli effluenti, la separazione solido-liquido è sicuramente quella più diffusa, sia come trattamento a sé stante, sia in combinazione con altri processi. La frazione solida che ne deriva, ricca di sostanza organica, può costituire un ottimo prodotto facilmente trasportabile e quindi utilizzabile sui terreni a maggiore distanza o eventualmente può essere ceduto ad altre aziende.

La possibilità di compostare gli effluenti prevede l'aggiunta di un materiale assorbente e con elevata porosità, in modo da ridurre l'umidità degli effluenti. È possibile prevedere il compostaggio sia della frazione palabile, che ha un'umidità dell'ordine dell'80%, sia del liquame tal quale che ha un'umidità media del 95%. Ovviamente la quantità di materiale assorbente da aggiungere risulta diversa nei due casi. Se si aggiunge paglia, il rapporto in peso con l'effluente è di 1:1 nel caso di frazione palabile e di 1:2 nel caso di liquame. Il prodotto finale che si può ottenere è un prodotto stabile con elevato contenuto di sostanza organica ed elementi nutritivi.

La rimozione dell'azoto con processi biologici non risulta sostenibile per gli elevati consumi energetici e la trasformazione dell'azoto minerale in molecolare. Quindi questa tecnica è fortemente sconsigliata. Interessante invece la possibilità di ottenere dai liquami una frazione di azoto minerale mediante strippaggio dell'ammoniaca e successiva formazione di un sale con il passaggio dell'aria in una soluzione acida. Generalmente si usa acido solforico ottenendo così del solfato di ammonio che può essere usato come fertilizzante e trasportato facilmente.

I trattamenti di riduzione dell'azoto contenuto nei liquami si avvantaggiano dell'abbinamento con la digestione anaerobica che consente di produrre biogas e quindi una fonte energetica rinnovabile. Il biogas, costituito da metano per il 50-60% e da anidride carbonica per la parte rimanente, può subire un processo di raffinazione e purificazione

rimuovendo l'anidride carbonica in modo da ottenere biometano, la cui concentrazione di metano supera il 98%. Questo costituisce una fonte energetica rinnovabile idonea all'immissione nella rete del gas naturale.

Nella valutazione della sostenibilità delle diverse soluzioni di trattamento utilizzabili nelle aziende suinicole, è importante valutare la gestione delle diverse frazioni e le emissioni (principalmente di ammoniaca e metano) che possono verificarsi durante il processo.

La figura 1 riporta la suddivisione dell'azoto contenuto nei liquami che si ottiene con i principali trattamenti che possono essere introdotti nelle aziende.

Ovviamente la soluzione che può essere sostenibilmente adottata da una azienda suinicola dipende da diversi aspetti e deve derivare da un'attenta analisi dell'allevamento e della gestione degli effluenti dalla stalla al campo. Infatti, i trattamenti, oltre a portare a benefici diretti nel caso di valorizzazione energetica, influenzano significativamente le fasi successive di stoccaggio, distribuzione e utilizzazione da parte delle colture.

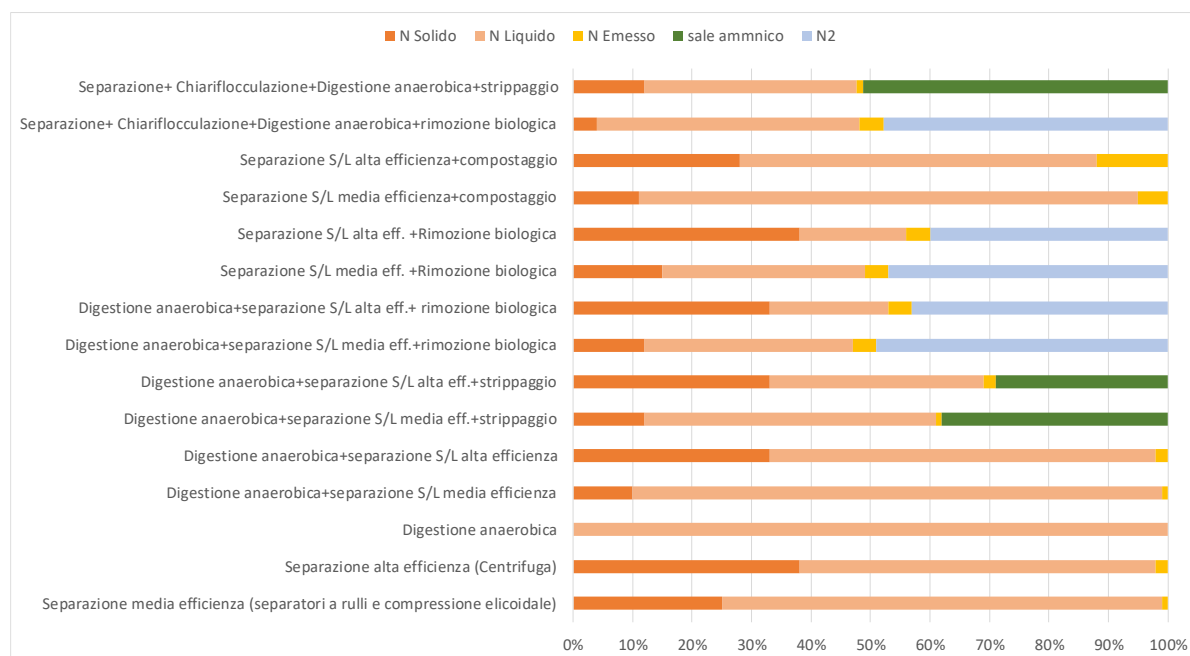


Figura 1. Suddivisione dell'azoto contenuto nei liquami. Fonte: progetto Life PrepAir (www.lifeprepare.eu)

Stoccaggio

Nella fase di stoccaggio si può intervenire coprendo i bacini di stoccaggio, ma anche ponendo attenzione al rapporto superficie/volume nella loro realizzazione; oltre che con strutture fisse, la copertura degli stoccaggi può essere realizzata con materiali flottanti (es. elementi di materiale plastico, granuli di argilla espansa, ecc.), con significativo abbattimento delle emissioni di ammoniaca (60 - 80%) (Dinuccio et al., 2015). Anche le strutture per il recupero del biogas, pur essendo dedicate alla captazione del metano, permettono la riduzione delle perdite ammoniacali. Ulteriori misure di mitigazione, proposte per la fase di stoccaggio dei reflui liquidi, consistono nell'impiego di additivi, tra cui gli acidi forti (es., acido solforico concentrato) e lo zolfo in polvere, che hanno dimostrato una notevole efficacia nel limitare le emissioni di NH₃ e gas a effetto serra (Fangueiro et al., 2015; Gioelli et al., 2016).

Distribuzione degli effluenti in campo

Gli obiettivi da perseguire per una corretta distribuzione degli effluenti zootecnici sono molteplici. Tra questi, le elevate capacità di lavoro, la possibilità di ampliare i calendari di distribuzione, il rispetto della dose di elementi desiderata, la buona uniformità di distribuzione trasversale e longitudinale rispetto alla direzione di avanzamento della macchina, il contenimento del compattamento dei suoli e la riduzione delle emissioni di odori, NH₃ e gas ad effetto serra sono tra quelli di maggiore rilevanza.

In particolare, nella maggior parte dei casi avviene un trasporto diretto degli effluenti tramite macchine (spandiliquame, spandiletame) utilizzate anche per la successiva distribuzione in campo. Tale soluzione è consigliata per quelle aziende agricole che dispongono di appezzamenti nel raggio di 4-5 km dal centro aziendale; nel caso di allevamenti con terreni ubicati a distanze superiori, al fine di ridurre i costi di gestione, è consigliato un cantiere di trasporto separato da quello di distribuzione. Per la distribuzione in campo dei liquami in concomitanza di un sistema di trasporto a rete fissa è possibile impiegare il sistema ombelicale, che consiste in una tubazione flessibile di lunghezza variabile tra circa 50 e oltre 400 m, avvolgibile su un carrello che, a sua volta, può essere semovente oppure portato dalla trattrice. La tubazione è collegata da un lato alla rete di distribuzione fissa del liquame (bocchette di ripresa) e dall'altro all'attrezzatura di distribuzione vera e propria. Il sistema ombelicale consente anche la possibilità di adottare la tecnica della fertirrigazione con sistema a pioggia a bassa pressione (ali piovane e pivot, sprinkler) oppure con microirrigazione.

Gli effluenti zootecnici sono dei fertilizzanti molto variabili in composizione per via delle diverse soluzioni di stabulazione, della specie allevata, dell'alimentazione, delle condizioni di stoccaggio e della presenza o meno di sistemi di trattamento (es. digestione anaerobica, separazione solido liquido di liquami). Inoltre, l'assenza o la scarsa efficienza dei sistemi di omogeneizzazione nelle vasche di stoccaggio determina notevoli difficoltà nell'attribuzione del titolo fertilizzante dei liquami. Una possibile soluzione a questo problema è rappresentata dall'impiego di metodi rapidi di analisi che consentono di determinare direttamente sullo spandiliquame alcuni dei parametri analitici dell'effluente. A titolo di esempio, l'impiego di sistemi innovativi di analisi basati sulla spettroscopia nel vicino infrarosso (Near Infrared Spectroscopy - NIRS), integrati a dispositivi per la Distribuzione Proporzionale all'Avanzamento (DPA), permette di calibrare la portata dei sistemi di alimentazione in funzione della velocità di avanzamento della macchina e del reale contenuto in nutrienti del liquame. Le recenti innovazioni tecnologiche, grazie alla possibilità di interfacciare il sistema di controllo della dose con un ricevitore satellitare (GPS) e le mappe di fertilità dei suoli consentono di realizzare una distribuzione a dosi variabili, in funzione delle esigenze nutrizionali delle colture sia spaziali sia temporali.

La fase di spandimento in campo è la fase di gestione dei reflui che comporta i maggiori rischi di perdite di azoto tramite volatilizzazione. Inoltre, con una distribuzione mal eseguita, si può vanificare l'effetto delle pratiche di mitigazione messe in atto a monte, in fase di allevamento e stoccaggio. Per mitigare le emissioni atmosferiche la distribuzione deve essere localizzata a livello del terreno (es. bande rasoterra) e deve seguire quanto prima l'interramento dei reflui nel suolo. Per questo motivo le tecniche più innovative prevedono l'impiego di macchine per l'interramento diretto contestualmente alla distribuzione, ottenendo abbattimenti delle emissioni di NH₃ fino al 90% rispetto a tecniche tradizionali quali la distribuzione superficiale con piatto deviatore (Santonja et al., 2017). Questi sistemi hanno, inoltre, il vantaggio di garantire una buona uniformità di distribuzione, pur avendo una produttività oraria (ha/h) più ridotta. Per quanto risulti la tecnica di maggior successo per il controllo delle perdite

di NH_3 , l'interramento diretto può causare un incremento delle emissioni di N_2O (Velthof e Mosquera, 2011). Per ovviare a questa ulteriore problematica, è stato proposto l'impiego di inibitori della nitrificazione che, oltre ad avere un effetto mitigante sulle emissioni di N_2O , favoriscono la disponibilità di azoto per le colture (Di e Cameron, 2005; Randall e Vetsch, 2005). Anche in fase di distribuzione dei reflui, sono stati impiegati con successo gli acidi forti, al fine di ridurre le emissioni di NH_3 . Tale soluzione tecnica consente di ridurre fino al 70% le emissioni di ammoniaca rispetto al refluo tal quale, e sembra essere in grado di ridurre anche le perdite di nitrati per lisciviazione (Semintela et al., 2013) e di favorire l'assorbimento dei nutrienti da parte delle colture.

iii) Effetti dei liquami sul suolo, sulle colture e sulle emissioni

Parte dell'N contenuto nei liquami suini è in forma ammoniacale (in media il 70%), il resto è in forma organica. Il destino nel breve periodo (stagione successiva alla distribuzione in campo) dipende soprattutto dalla quantità di azoto ammoniacale apportato e dalle sue trasformazioni. Esso può essere assorbito dalla coltura, volatilizzato come NH_3 , immobilizzato dalla biomassa microbica del terreno, fissato negli interstrati dei minerali argillosi, o infine nitrificato, con conseguenti possibili emissioni di $\text{N}_2\text{O}/\text{N}_2$ e di nitrati nelle acque (Sørensen et al., 2019). L'equilibrio tra questi destini è regolato da molti fattori, tra cui sono molto importanti l'epoca di applicazione (per la sua relazione con le condizioni meteorologiche dopo l'aggiunta del liquame al suolo) e le dosi impiegate. Il destino dell'N nel medio-lungo periodo è governato dall'N organico e dalle sue trasformazioni. Gli effetti che ne conseguono (aumento della mineralizzazione potenziale dell'azoto ed effetti residui) sono misurabili e sono di interesse agronomico solo a seguito di applicazioni ripetute nel tempo (Schröder et al., 2013). L'aumentato potenziale di mineralizzazione dell'azoto può causare una maggiore disponibilità per le colture, mentre nei periodi in cui il suolo è nudo aumenta il rischio di lisciviazione. Come conseguenza dei processi illustrati, le efficienze agronomiche apparenti comunemente utilizzate nei piani di concimazione sono di circa il 60-70% per le applicazioni ad alta efficienza (es. autunnali) e del 30% per quelle a bassa efficienza (es. primaverili) (Regione Lombardia, 2020).

Anche il fosforo è presente nei liquami suini (Sommer et al., 2013) in forme soprattutto inorganiche (solubili e insolubili in acqua). La disponibilità del P dei liquami per la coltura è generalmente elevata, con perdite per lisciviazione di solito ridotte. Il problema più rilevante che si presenta nell'utilizzo di tutti gli effluenti, compresi i liquami suini, è lo sbilanciamento della dotazione azotata rispetto a quella fosfatica. Il rapporto N:P dei liquami suini è in media 3.8 (Kleinman et al., 2005), mentre per i cereali è in media 5.6 (Regione Lombardia, 2020). Di conseguenza, se, come spesso capita, gli effluenti sono utilizzati in modo da ottimizzare l'apporto di N per la coltura, si tenderà ad apportare troppo P, con il risultato che questo nel tempo si accumulerà nel terreno, facendo aumentare i livelli di P assimilabile oltre l'intervallo di normalità.

Non è invece documentato un aumento sistematico della concentrazione di carbonio organico a seguito dell'utilizzo di liquami suini, anche se l'apporto di sostanza organica con gli effluenti può essere positivo (Maillard e Angers, 2014).

Per ridurre l'impatto ambientale, innanzitutto andrebbero utilizzate le epoche di applicazione caratterizzate da maggiore efficienza dell'N (primavera-estate), evitando in ogni caso le applicazioni autunnali senza che sia prevista una coltura autunno-vernina. Inoltre, le

dosi da applicare devono essere stabilite con un piano di concimazione, considerando sia gli effetti nella stagione successiva all'applicazione sia gli effetti residui (Sørensen et al., 2019).

Tra i trattamenti del liquame che possono essere effettuati prima della distribuzione in campo, la digestione anaerobica, la separazione solido-liquido e l'acidificazione possono avere effetti positivi, come già accennato più sopra.

La digestione anaerobica consente spesso, se si evita la volatilizzazione di NH_3 durante la distribuzione in campo, un aumento dell'efficienza dell'N al primo anno del 10-20% rispetto al liquame non digerito, grazie all'aumento del rapporto N-ammoniacale/N-totale, alla riduzione della concentrazione di acidi grassi volatili (che contribuiscono all'immobilizzazione microbica di N) e alla riduzione del tenore in sostanza secca, che favorisce l'infiltrazione nel terreno (Sørensen et al., 2019).

Anche la frazione liquida ottenuta dalla separazione del liquame contiene più azoto ammoniacale rispetto al liquame non trattato, e ha un rapporto C/N inferiore, fattori che consentono una maggiore efficienza al primo anno. La frazione solida, grazie a un maggiore tenore in sostanza secca, ha invece più possibilità di essere trasportata fuori dall'azienda, e presenta anche il vantaggio di un minore rapporto N:P rispetto al liquame non trattato, consentendo l'allontanamento di una parte del P.

Tra le tecniche di distribuzione che possono condurre a un aumento dell'efficienza dei nutrienti, ricordiamo quelle che consentono la riduzione delle emissioni di ammoniaca (già trattate sopra), la fertirrigazione, l'uso di inibitori della nitrificazione, la localizzazione del liquame vicino al seme e la coltivazione di cover crop.

La fertirrigazione con la frazione liquida filtrata di liquami o digestati è una tecnica ancora poco studiata, che però ha fornito risultati promettenti su mais, in quanto consente l'applicazione in copertura (con sistemi irrigui a goccia o per aspersione) fino a 200-250 kg N/ha in totale (Mantovi, 2013; Guido et al., 2020; Mantovi et al., 2020).

Gli inibitori della nitrificazione consentono una riduzione delle emissioni di N_2O e della lisciviazione (purché l'epoca di applicazione sia adeguata), insieme a un aumento delle rese e dell'asportazione di azoto da parte della coltura (Ruser e Schulz, 2015).

La localizzazione del liquame vicino al seme di mais (ottenuta attraverso applicazione di precisione in bande) consente di raggiungere il cosiddetto "effetto starter" senza dover ricorrere a concimi fosfatici inorganici, e contribuisce quindi a ridurre il surplus di P (Bittman et al., 2012; Schröder et al., 2015).

Le cover crop autunno vernine non leguminose (graminacee o brassicacee) consentono una rilevante riduzione delle perdite per lisciviazione (-56-70%) dell'N nitrico che può accumularsi nel terreno alla fine dell'estate come risultato dell'applicazione di liquami (Tonitto et al., 2006; Thapa et al., 2018).

iv) Interventi nutrizionali per migliorare la salute intestinale del suinetto

L'utilizzo prudente e responsabile degli antibiotici è essenziale al fine di limitare il fenomeno dell'antibiotico-resistenza nel settore veterinario. Molti Paesi della Comunità Europea hanno adottato da qualche anno piani di intervento per ridurre l'utilizzo, ma in alcune fasi produttive, come ad esempio lo svezzamento dei suinetti, il rischio di patologie è molto elevato e si ricorre ancora a una prevenzione mediante mangimi medicati. In ogni caso l'approccio per allevare gli animali in assenza o quanto meno ricorrendo il meno possibile all'antibiotico, richiede interventi in vari ambiti per assicurare una buona salute intestinale (Celi et al., 2017). Negli ultimi anni il concetto di "salute intestinale" viene affrontato con un

approccio multidisciplinare nel quale la dieta rappresenta un punto cruciale insieme al sistema immunitario, alla mucosa intestinale e alla microflora (Celi et al., 2019) dalla cui interazione, regolata da numerosi e complessi meccanismi molti dei quali non del tutto chiariti, dipendono la funzionalità digestiva e le prestazioni dell'animale. La composizione della dieta, in termini di utilizzo di ingredienti caratterizzati da un'elevata qualità e salubrità delle materie prime, nutrienti bilanciati e additivi adeguati, è in grado di modulare lo sviluppo e la funzionalità del tratto gastro-intestinale, influenzando anche il sistema immunitario, la microflora e l'instaurarsi di processi infiammatori e antinfiammatori (Broom e Kogut, 2018). Considerando quindi l'interazione di più fattori in grado di influenzare la salute intestinale è plausibile definire tale concetto come "uno stato stazionario in cui il microbioma e il tratto intestinale coesistono in un equilibrio simbiotico e dove il benessere e le prestazioni dell'animale non sono limitati dalla disfunzione intestinale" (Celi et al., 2017). L'età dell'animale, i fattori nutrizionali e ambientali influenzano la numerosità e la composizione delle specie batteriche che compongono il microbiota, costituito principalmente da batteri anaerobi Gram-positivi (Kumar et al., 2019) il cui ruolo è quello di contribuire positivamente della salute intestinale prevenendo la colonizzazione da parte di microrganismi potenzialmente patogeni e regolando le componenti immunitarie della mucosa intestinale (Dietert e Silbergeld, 2015). Un altro effetto benefico è dato dalla produzione e disponibilità per l'animale ospite di varie sostanze, fra cui acidi grassi a catena corta (SCFA), aminoacidi e vitamine B e K (Verbeke et al., 2015; Van der Wielen et al., 2000). Sia le popolazioni microbiche sia la barriera intestinale intesa come principale meccanismo di difesa rappresentato dallo strato mucosale e dai componenti del sistema immunitario e nervoso enterico sono influenzate dalle fermentazioni a carico delle sostanze nutritive introdotte con la dieta (Pluske, 2013). L'assunzione di nutrienti è necessaria al fabbisogno dell'animale e contribuisce ad assicurare le migliori condizioni di salute dell'intestino. Quest'ultimo è anzitutto condizionato da adeguate attività fermentative a carico delle componenti principali della dieta: carboidrati, fibre e proteine. Anche in caso di corretto equilibrio fra le macrocomponenti della dieta, la limitazione all'uso di antibiotici potrebbe comunque compromettere l'efficienza e la salute degli animali. Pertanto, è del tutto giustificato valutare l'efficacia di alternative ai promotori della crescita da integrare nei mangimi (Bontempo et al., 2006, Bontempo et al., 2015).

Un'efficace digestione e assorbimento delle proteine è fondamentale sia per soddisfare le esigenze di aminoacidi, essenziali e non, dell'animale sia per ridurre la loro presenza nel cieco-colon. Ciò è particolarmente vero nei giovani animali che hanno difficoltà a digerire le proteine nei mangimi a fronte di un elevato fabbisogno (Heo et al., 2009). La riduzione dei livelli di proteina nel mangime, equilibrata con l'aggiunta di aminoacidi essenziali sintetici (lisina, metionina, treonina, triptofano e valina) riduce il rischio di diarrea da "eccesso proteico" e consente agli animali di estrinsecare il potenziale di crescita. Un altro intervento per ridurre il rischio di diarrea è migliorare la digeribilità delle proteine utilizzando materie prime più digeribili prive di fattori anti-nutrizionali e combinando preziose fonti proteiche (animali o vegetali) caratterizzate da una maggiore digeribilità e a un profilo aminoacidico più adatto (Hermes et al., 2009).

L'interesse verso la ricerca di valide alternative agli antibiotici come promotori della crescita è accresciuto notevolmente e comprende diversi additivi inseriti nel Regolamento CE 1831/2003, quali: enzimi, aminoacidi, antiossidanti, oligoelementi, acidi organici, prebiotici/probiotici, sostanze naturali, acidi grassi a corta e media catena e nucleotidi. L'obiettivo di assicurare con la dieta le migliori condizioni di salute dell'intestino suggerisce la

necessità di avvalersi della valutazione di parametri adeguati sia per comprendere meglio i meccanismi d'azione delle varie sostanze impiegate sia per verificare l'adeguatezza delle soluzioni dietetiche adottate. Tali approcci dovrebbero avere carattere non invasivo, consentire un'analisi piuttosto rapida e, per quanto possibile, essere a basso costo (Bischoff et al., 2014). Per misurare la salute dell'intestino esistono numerose tecniche (Niewold, 2015; Verbeke et al., 2015), alcune considerano biomarcatori misurati nel sangue (LPS), nelle feci (calprotectina, fosfatasi alcalina e acidi grassi a corta catena), nell'urina e nell'espriato, in grado di fornire un adeguato indice di salute intestinale. Per una analisi più approfondita dei meccanismi molecolari alla base soprattutto degli effetti degli estratti naturali, è inoltre possibile ricorrere alle nuove tecnologie quali: la trascrittomico, che ci permette di individuare se uno specifico gene è attivato, la proteomica, che consente di determinare quali proteine vengono codificate e la metabolomica, che fornisce informazioni su quali metaboliti vengono prodotti o possono essere prodotti agendo sia sulla microflora intestinale sia su vari distretti intestinali (Picò et al., 2019).

v) Contenimento dell'escrezione di azoto

Per essere etichettato come prodotto a denominazione di origine protetta (DOP), il prosciutto crudo italiano deve essere prodotto nel rispetto delle linee guida dei Consorzi di produzione. I principali Consorzi stabiliscono un'età minima dei suini al macello di 9 mesi, 160 kg \pm 10% di peso corporeo, con carcassa e prosciutto con ottimali rivestimenti di grasso. Per raggiungere questo obiettivo deve essere applicato un regime energetico ristretto (Mordenti et al., 2003) e un'ulteriore restrizione proteica potrebbe essere richiesta, in particolare per i suini con un alto potenziale per una rapida crescita in carne magra (Bosi e Russo, 2004). Da diversi anni i suini di gruppi genetici tradizionali sono stati parzialmente sostituiti da ibridi commerciali con una migliore efficienza alimentare, ma con carcasse e prosciutti troppo magri per la produzione di prosciutto DOP (Lo Fiego et al., 2005). Una restrizione proteica potrebbe essere particolarmente utile per questo tipo di suini. Sempre più spesso è proposto l'uso di diete a basso contenuto proteico per ridurre l'escrezione di N dagli allevamenti di suini (Schiavon et al., 2009; Galassi et al., 2010; Gallo et al., 2014).

La principale fonte di proteine vegetali per mangimi destinati agli animali di interesse zootecnico è la farina di estrazione di soia. L'impiego della soia ha un grande impatto ambientale dovuto all'uso di terra e acqua per la sua coltivazione e al suo trasporto su larga scala. In Italia, e non solo, la maggior parte della farina di estrazione di soia viene importata dagli Stati Uniti e dal Sud America. Secondo Bava et al. (2017) il maggior contributo al potenziale di riscaldamento globale (*Global Warming Potential*, GWP) da allevamenti di suini pesanti italiani è dovuto all'impiego della soia nelle diete, in particolare al cambiamento d'uso del suolo legato alla coltivazione della soia importata. Inoltre, risulta che il GWP, in termini di kg di CO₂ equivalenti per kg di peso vivo prodotto, è mediamente di 4,25, più elevato rispetto a quanto determinato in altri studi europei nelle produzioni del suino leggero (tra 2,55 e 2,97). Questo è certamente correlato al peggioramento degli indici di conversione alimentare che si hanno nelle fasi finali di crescita del nostro tipico suino pesante da prosciutto. Per attenuare il problema è utile migliorare le rese alimentari e, per questo, grande importanza avrebbe l'adeguare al meglio gli apporti dei nutrienti ai reali fabbisogni dei suini, in particolar modo i livelli proteici e aminoacidici delle diete per la fase finale d'ingrasso che nella pratica d'allevamento risultano spesso eccessivi.

È sicuramente possibile ridurre drasticamente la presenza della farina di estrazione di soia nelle razioni per suini all'ingrasso. In particolare, per suini pesanti nella fase finale di crescita è stata valutata la possibilità di non impiegare soia (Gallo et al., 2014; Galassi et al., 2015). In tali sperimentazioni sono state testate diete per suini pesanti con riduzione o totale esclusione dell'impiego di soia, quindi con tenore proteico ridotto, rispetto a quanto solitamente si trova nei mangimi commerciali, e addizionate con aminoacidi di produzione industriale.

In particolare, in Gallo et al. (2014) sono state confrontate diete con contenuti di proteina convenzionali e ridotti di circa il 20%, nelle ultime due fasi di crescita. I mangimi rappresentavano tradizionali diete per suini pesanti da prosciutto, a base di cereali e farina di estrazione di soia, ma con riduzione (nella fase di crescita 80-130 kg di PV) o esclusione (nella fase 130-170 kg) della farina di soia nelle diete a bassa proteina (tabella 1).

Tabella 1. Caratteristiche chimiche (g/kg) dei mangimi utilizzati da Gallo et al. (2014)

Fasi di ingrasso Mangimi	90-130 kg PV		130-170 kg PV	
	Controllo	Bassa Proteina	Controllo	Bassa Proteina
Proteina grezza	146	117	133	108
Lisina	7,3	5,8	5,7	4,7
Metionina	2,4	2,0	2,3	1,9
Treonina	5,4	4,4	4,8	4,0
Triptofano	1,7	1,3	1,6	1,2
Estratto etereo	40	38	40	36
Amido	426	455	436	476
Fibra neutro detersa	129	137	133	131

I risultati della prova di Gallo sono riportati nella tabella 2. Come in Galassi et al. (2015), la riduzione dei livelli proteici dei mangimi ha determinato una riduzione delle escrezioni di N nell'ordine del 22-25%, ovvero circa l'8% per ogni punto percentuale di riduzione della proteina grezza dei mangimi. Gli apporti medi giornalieri di lisina standardizzata digeribile a livello ileale (*Standardized ileal digestible*, SID) nelle due fasi di crescita considerate sono risultati pari a 13,4 e 11,7 g/d, valori che sono decisamente inferiori a quelli consigliati da NRC (2012) per suini leggeri a rapido accrescimento.

Tabella 2. Peso vivo, incremento ponderale giornaliero, depositi lipidici e bilancio dell'N da Gallo et al. (2014)

	Controllo	Bassa proteina	ES	P
Peso iniziale, kg	92,9	92,6	1,7	0,88
Peso finale, kg	168,3	169,5	1,5	0,57
Incremento ponderale, kg/d	0,66	0,68	0,01	0,44
Aumento spessore lardo dorsale, mm	7,44	8,32	0,46	0,20
N escreto, g/d	41,4	32,1	0,6	<0,01
N ritenuto, g/d	15,6	15,5	0,5	0,85

In letteratura vi sono lavori che hanno considerato gli effetti di analoghe riduzioni dei contenuti di proteine e amminoacidi dei mangimi sulle caratteristiche di carcasse e delle cosce destinate a trasformazione. In Schiavon et al. (2015) gli apporti giornalieri di lisina SID erano stati ridotti del 20% rispetto al controllo, fino a 11,8 e 9,9 g/d nelle fasi di crescita 90-120 e 120-170 kg di PV di suini di diversi tipi genetici, senza modificare le caratteristiche delle

carcasse. In Gallo et al. (2015) si sottolinea inoltre che la riduzione dei contenuti proteico/amminoacidici a fine ciclo di ingrasso migliora l'omogeneità dei suini in termini di peso vivo, peso delle carcasse e altre caratteristiche delle cosce, elementi di grande rilevanza tecnica ed economica. Ancora, Gallo et al. in un lavoro del 2016 affermano che la riduzione dei livelli proteici fino all'11% nelle diete di finissaggio migliora lo spessore del grasso di copertura delle cosce con riduzione delle perdite di stagionatura. Quindi la riduzione del tenore proteico dei mangimi per suini pesanti può migliorare la sostenibilità della produzione di prosciutto crudo diminuendo l'emissione di azoto dagli allevamenti e riducendo l'inclusione della farina di soia nella dieta, abbassando così i costi di alimentazione.

vi) Qualità del prodotto finale

Le esigenze connesse alla produzione di prodotti di salumeria di alta qualità richiedono particolari caratteristiche del tessuto muscolare e adiposo. Il primo, oltre ovviamente a dover essere esente da miopatie conclamate (PSE, DFD, traumi etc), raggiunge le caratteristiche tecnologiche ottimali solo in soggetti con un'età minima elevata, i famosi 9 mesi del Disciplinare di produzione.

Per il grasso invece si possono evidenziare 2 aspetti che lo rendono tecnologicamente idoneo così come peraltro definito dai Disciplinari di produzione del prosciutto di Parma e di San Daniele, uno quantitativo e l'altro qualitativo. Da un punto di vista quantitativo una ridotta copertura adiposa della coscia facilita un'eccessiva asciugatura con effetti negativi sulla resa e sulla qualità del prosciutto. D'altro canto, un'eccessiva adiposità può ridurre l'assorbimento del sale e comunque presenta alla commercializzazione un prodotto meno gradito a molti consumatori. Da un punto di vista qualitativo il grasso deve avere un basso grado di insaturazione ed in altri termini essere caratterizzato da un numero di iodio massimo pari a 70 o in alternativa un contenuto in acido linoleico inferiore al 15%.

Riuscire ad ottenere l'insieme delle caratteristiche citate non è sempre facile, eppure i prosciutti crudi si son sempre fatti e non sarebbe poi così difficile se non fosse per 2 componenti principali:

1. Le genetiche migliorate oggi allevate che da un lato hanno accrescimenti elevati e spesso rendono difficile conciliare i 9 mesi di età ai 160 kg PV e dall'altro presentano un'adiposità inferiore con conseguente maggior grado d'insaturazione del grasso di deposito, per un'incidenza relativa del grasso alimentare più elevata (Catillo et al., 2021).
2. Le condizioni climatiche che, per il tristemente noto riscaldamento climatico, comportano periodi estivi sempre più caldi condizionando le performance di crescita degli animali che, per necessità di termoregolazione, tendono ad assumere meno mangime avendo difficoltà nella termolisi. Si può ovviare in parte con l'alimentazione introducendo nella dieta alimenti caratterizzati da un basso heat increment (grassi) e limitando quelli che l'hanno più alto (proteine e fibra) ma così ecco che spuntano i grassi nella dieta e con loro i possibili effetti negativi.

L'alimentazione notoriamente è un fattore in grado di modificare profondamente le caratteristiche delle carcasse e in particolare del grasso di deposito nei monogastrici. Alcune ricerche condotte sul suino pesante (Rossi e Corino, 2002; Bochicchio et al., 2005; Della Casa et al., 2010) hanno evidenziato come l'uso di lipidi dal diverso grado d'insaturazione nella dieta,

ma anche granelle di mais ad alto tenore lipidico, portino ad effetti diretti sulla composizione del grasso con il rischio di avvicinare o superare il famoso limite di 70 del numero di iodio.

I possibili interventi nutrizionali ai fini di garantire un grasso di deposito tecnologicamente idoneo sono sostanzialmente tre:

- evitare la grassatura delle diete negli ultimi 60 giorni di allevamento (ma non è detto che in assoluto 60 giorni siano sufficienti e comunque resta il problema della minor efficienza di accrescimento nel periodo caldo);
- grassare le diete dell'ultimo periodo con lipidi dall'elevato grado di saturazione (certo una soluzione non molto 'dietetica' ma efficace);
- utilizzare nella fase finale un'integrazione in CLA (ad ora non ammessi dal Disciplinare).

Nel suino pesante l'uso di un'integrazione in CLA dello 0,25-0,75% consente una riduzione del numero di iodio del 7-9% (Figura 2) dando un margine di garanzia sufficiente per l'operatore se si considera che da 70 (valore limite) il numero di iodio scende a 63-65. Contemporaneamente si osserva un aumento del contenuto in CLA nel muscolo e ancor più nel tessuto adiposo di riserva che sono descritti avere proprietà biologiche di grande interesse per la salute del consumatore (Corino et al., 2006).

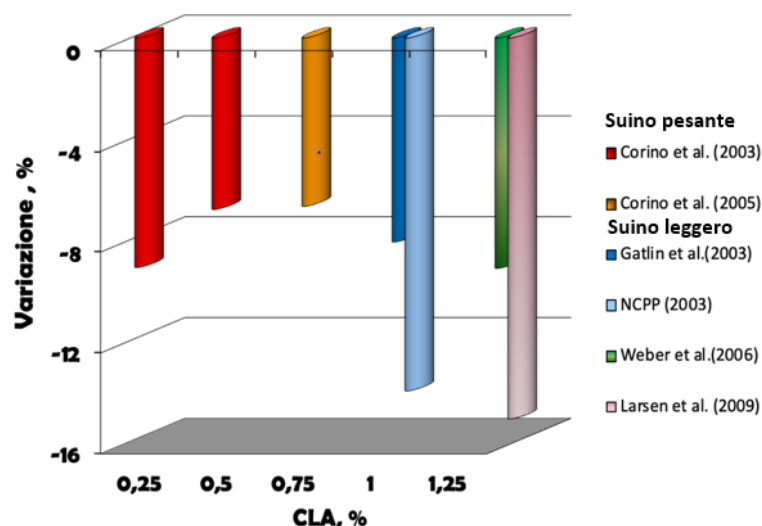


Figura 2. Relazione tra integrazione della dieta con CLA e numero di iodio del grasso

All'introduzione di grassi in formula si associa comunque l'esigenza di una sufficiente capacità antiossidante per garantire che durante la, talora lunga, stagionatura i processi ossidativi non siano eccessivi. Ed ecco che da una soluzione sorge un nuovo problema che è stato ed è ampiamente studiato e quindi divenuto facilmente risolvibile con l'uso di vitamina E, C, di selenio e di estratti vegetali titolati. L'uso della vitamina E è molto efficace e validato per aumentare la stabilità ossidativa delle carni (con interessante aumento della shelf life, fino a 15 giorni in atmosfera modificata, Rossi et al., 2017). L'uso della vitamina E anche ad alti dosaggi non apporta modifiche sensoriali dei prosciutti di Parma (Corino et al., 1999).

Conclusioni

In questa relazione sono stati presi in considerazione aspetti della filiera produttiva suinicola che, attraverso applicazioni in campo delle indicazioni della ricerca, possono portare

a una sua maggior sostenibilità. In tal modo sarebbe possibile mantenere o aumentare il livello di intensivizzazione che caratterizza la maggior parte della suinicoltura italiana.

i) È necessario porre attenzione alla progettazione delle strutture di allevamento, per quanto riguarda sia gli aspetti energetici e microclimatici, in modo da garantire una buona ventilazione naturale e un contenimento dei sistemi attivi di controllo dell'ambiente, sia la riduzione delle emissioni di ammoniaca e altri gas per mantenere un ambiente salubre e limitare l'impatto sulla qualità dell'aria.

ii) La gestione degli effluenti di allevamento è una delle sfide per la sostenibilità in quanto questi prodotti possono essere sfruttati dal punto di vista energetico e come fertilizzanti, senza escludere la possibilità di estrarre sostanze pregiate. Al tempo stesso costituiscono un notevole rischio ambientale per il rilascio in aria e verso le acque di composti azotati e fosforo. L'adozione di opportune tecniche, valutando in modo complessivo la situazione aziendale risulta essenziale per rendere l'allevamento sostenibile e massimizzare il riuso dei fertilizzanti

iii) L'utilizzo dei fertilizzanti organici deve essere inserito in un piano di concimazione aziendale e adottare tecniche per migliorare l'efficienza di utilizzo dell'azoto (frazionamenti, localizzazione, controllo della dose distribuita, incorporazione immediata, ecc.) e inserirsi in un piano colturale che includa cover crop e un avvicendamento in grado di valorizzare il contenuto fertilizzante degli effluenti e limitare il rilascio verso l'ambiente di sostanze potenzialmente inquinanti.

iv) Valutando la possibilità di migliorare la sostenibilità con adeguate strategie nutritive e alimentari, in riferimento alla riduzione dell'uso di antibiotici, possiamo concludere che un prerequisito necessario è la salute dell'intestino degli animali, soprattutto nelle fasi di svezzamento. Pertanto, l'obiettivo primario è quello di creare e mantenere un equilibrio intestinale attraverso il miglioramento di diverse componenti enteriche: sistema immunitario, equilibrio tra le popolazioni microbiche, barriera intestinale e attività digestive.

v) Relativamente all'escrezione azotata, più impattante nelle fasi finali del ciclo produttivo, è possibile affermare che livelli proteici inferiori al 12 e 11%, con 5,8 e 4,7 g di lisina totale per kg di mangime (fasi di crescita superiori a 90 e a 130 kg, rispettivamente) sono sufficienti per una produzione di suini pesanti in linea con le indicazioni dei disciplinari dei maggiori consorzi di produzione dei prosciutti. Queste indicazioni suggeriscono impieghi contenuti di alimenti proteici, in particolare di farina di estrazione di soia, con riduzione dei costi legati all'alimentazione e una contestuale riduzione dell'azoto escreto.

vi) Le conoscenze relative ai rapporti tra alimentazione e qualità delle carni sono al momento molto aumentate ma non si può non evidenziare un'insufficiente attività (finanziamento) della ricerca relativa specificatamente al suino pesante (al 7/02/2021 su Scopus alla voce 'heavy pig' limit-country Italy risultano 329 pubblicazioni censite dal 1970 ad oggi). Sono certo ricerche impegnative e che soprattutto non dovrebbero fermarsi alla qualità delle carni, ma proseguire nell'analisi degli effetti sull'attitudine alla trasformazione e sulle caratteristiche nutrizionali e sensoriali dei prodotti che essendo DOP e IGP di alta qualità devono mantenere il loro standard nel tempo.

Bibliografia

- Bava L., Zucali M., Sandrucci A., Tamburini A. 2017. Environmental impact of the typical heavy pig production in Italy. *Journal of Cleaner Production*, 140: 685-691.
- Bischoff S., Barbara G., Buurman W., Ockhuizen T., Schulzke J., Serino M., Tilg H., Watson A. Wells J. 2014. Intestinal permeability – a new target for disease prevention and therapy. *BMC Gastroenterology*, 14(1): 189-214.

- Bittman S., Liu, A., Hunt D.E., Forge, T.A., Kowalenko C.G., Chantigny M.H., Buckley K. 2012. Precision Placement of Separated Dairy Sludge Improves Early Phosphorus Nutrition and Growth in Corn (*Zea mays* L.). *Journal of Environmental Quality* 41, 582–591. doi:<https://doi.org/10.2134/jeq2011.0284>.
- Bochicchio D., Faeti V., Marchetto G., Poletti E., Maranesi M., Mordenti A.L., Della Casa G. 2005. Effect of feeding partially hydrogenated lard on trans-fatty acid content of muscle and backfat of heavy pigs, *Meat Science*, 71 (4): 651-656. doi:10.1016/j.meatsci.2005.05.010.
- Bontempo V., Comi M., Jiang X. 2015. The effects of a novel synthetic emulsifier product on growth performance of chickens for fattening and weaned piglets. *Animal*, 10(04): 592-597.
- Bontempo V., Di Giancamillo A., Savoini G., Dell'Orto V., Domeneghini C. 2006. Live yeast dietary supplementation acts upon intestinal morpho-functional aspects and growth in weanling piglets. *Animal Feed Science and Technology*, 129(3-4): 224-236.
- Bosi P., Russo V. 2004. The production of the heavy pig for high quality processed products. *Italian Journal of Animal Science*, 3: 309-321.
- Broom L.J., Kogut M.H. 2018. Inflammation: friend or foe for animal production? *Poultry science*, 97(2): 510-514.
- Catillo G., Zappaterra M., Lo Fiego D.P., Steri R., Davoli R. 2021. Relationships Between EUROP Carcass Grading and Backfat Fatty Acid Composition in Italian Large White Heavy Pigs. *Meat Science*. 171. doi:10.1016/j.meatsci.2020.108291.
- Celi P., Cowieson A., Fru-Nji F., Steinert R., Klüenter A., Verlhac V. 2017. Gastrointestinal functionality in animal nutrition and health: New opportunities for sustainable animal production. *Animal Feed Science and Technology* 234: 88-100.
- Celi P., Verlhac V., Calvo E.P., Schmeisser J., Klüenter A.M. 2019. Biomarkers of gastrointestinal functionality in animal nutrition and health. *Animal Feed Science and Technology*, 250: 9-31.
- Corino C., Oriani G., Pastorelli G., Pantaleo L., Salvatori G., Bellatti M., Baldini P. 1999. Effect of dietary vitamin E supplementation to finishing heavy pigs on the composition and sensory properties of Parma ham. *Zoot. Nutr. Anim.*, 25: 63-70.
- Corino C., Pastorelli G., Duard V., Rossi R., Musella M., Mourou J. 2006. L'acide linoléique conjugué en nutrition porcine. *INRA Prod. Anim.*, 19: 39-46.
- De Corato U., Cancellara F.A. 2014. L'efficienza energetica nel comparto zootecnico. ENEA, Bari.
- Della Casa G., Bochicchio D., Faeti V., Marchetto G., Poletti E., Rossi A., Panciroli A., Mordenti A.L., Brogna N. 2010. Performance and fat quality of heavy pigs fed maize differing in linoleic acid content. *Meat Science*, 84 (1): 152-158. doi:10.1016/j.meatsci.2009.08.040.
- Di H. J., Cameron K. C. 2005. Reducing environmental impacts of agriculture by using a fine particle suspension nitrification inhibitor to decrease nitrate leaching from grazed pastures. *Agriculture, ecosystems & environment*, 109(3-4), 202-212.
- Dietert R.R., Silbergeld E.K. 2015. Biomarkers for the 21st century: listening to the microbiome. *Toxicological Sciences*, 144: 208-216.
- Dinuccio E., Balsari P., Gioelli F. 2015. Reduction of gaseous emission from pig slurry storage tanks by different covering materials. 16th Ramiran International Conference, 8th-10th September 2015 Hamburg Germany.
- Fangueiro D., Hjorth M., Gioelli F. 2015. Acidification of animal slurry. *J. Environ. Manag.* 149, 46-56.
- Galassi G., Colombini S., Malagutti L., Crovetto G.M., Rapetti L. 2010. Effects of high fibre and low protein diets on performance, digestibility, nitrogen excretion and ammonia emission in the heavy pig. *Animal Feed Science and Technology*, 134: 326-336.
- Galassi G., Malagutti L., Colombini S., Rapetti L., Gallo L., Schiavon S., Tagliapietra F., Crovetto G.M. 2015. Nitrogen and energy partitioning in two genetic groups of pigs fed low-protein diets at 130 kg body weight. *Italian Journal of Animal Science*, 14: 293-298.
- Gallo L., Dalla Montà G., Carraro L., Cecchinato A., Carnier P., Schiavon S. 2014. Growth performance of heavy pigs fed restrictively diets with decreasing crude protein and indispensable amino acids content. *Livestock Science*, 161:130-138.
- Gallo L., Dalla Montà G., Carraro L., Cecchinato A., Carnier P., Schiavon S. 2015. Carcass quality and uniformity of heavy pigs fed restrictive diets with progressive reductions in crude protein and indispensable amino acids. *Livestock Science*, 172: 50-58.
- Gallo L., Dalla Montà G., Carraro L., Cecchinato A., Carnier P., Schiavon S. 2016. Effect of progressive reduction in crude protein and lysine of heavy pigs diets on some technological properties of green hams destined for PDO dry-cured ham production. *Meat science*, 121: 135-140.
- Gaskins H R., Collier C.T. Anderson D.B. 2002. Antibiotics as growth promotants: mode of action. *Animal Biotechnology* 13: 29–42.
- Gioelli F., Dinuccio E., Rollè L., Cuk D., Balsari P., 2016. Acidification with sulfur of the separated solid fraction of raw and co-digested pig slurry: effect on GHG and ammonia emissions during storage. *Animal Production Science* 56, 343-349.
- Guido V., Finzi A., Ferrari O., Riva E., Quílez D., Herrero E., Provolo G. 2020. Fertigation of Maize with Digestate Using Drip Irrigation and Pivot Systems. *Agronomy* 10, 1453. doi:10.3390/agronomy10101453.
- Heo J., Kim J., Hansen C., Mullan B., Hampson D., Pluske, J. 2009. Feeding a diet with decreased protein content reduces indices of protein fermentation and the incidence of post weaning diarrhea in weaned pigs challenged with an enterotoxigenic strain of *Escherichia coli*. *Journal of Animal Science*, 87(9): 2833-2843.
- Hermes R., Molist F., Ywazaki M., Nofrarías M., Gomez de Segura A., Gasa J. Pérez J., 2009. Effect of dietary level of protein and fiber on the productive performance and health status of piglets. *Journal of Animal Science*, 87(11): 3569-3577.
- Kleinman P.J.A., Wolf A.M., Sharpley A.N., Beegle D.B., Saporito L.S., 2005. Survey of Water-Extractable Phosphorus in Livestock Manures. *Soil Science Society of America Journal* 69, 701–708. doi:<https://doi.org/10.2136/sssaj2004.0099>.
- Kumar H., Park W., Srikanth K., Choi B.H., Cho E.S., Lee K.T., Kim J.K., Kim K., Park J.E., 2019. Comparison of Bacterial Populations in the Ceca of Swine at Two Different Stages and Their Functional Annotations. *Genes*, 10(5): 382-399.
- Lo Fiego D.P., Santoro P., Macchioni P., De Leonibus E. 2005. Influence of genetic type, live weight at slaughter and carcass fatness on fatty acid composition of subcutaneous adipose tissue of raw ham in the heavy pig. *Meat Science*, 69: 107-114.
- Maillard É., Angers D.A. 2014. Animal manure application and soil organic carbon stocks: a meta-analysis. *Global Change Biology* 20, 666–679. doi:10.1111/gcb.12438.
- Mantovi P. 2013. Liquami e digestati: come usarli in fertirrigazione. *Informatore Agrario* 21, 32–36.
- Mantovi P., Moscatelli G., Piccinini S., Bozzetto S., Rossi L. 2020. Microfiltered Digestate to Fertigation: A Best Practice to Improve Water and Energy Efficiency in the Context of Biogasdoneright™, in: Naddeo, V., Balakrishnan, M., Choo, K.-H. (Eds.), *Frontiers in Water-Energy-Nexus—Nature-Based Solutions, Advanced Technologies and Best Practices for Environmental Sustainability, Advances in Science, Technology & Innovation*. Springer International Publishing, Cham, pp. 497–499.
- Mordenti A., Bosi P., Corino C., Crovetto G.M., Della Casa G., Franci O., Piva A., Prandini A., Russo V., Schiavon S. 2003., Amethodological approach to assess nutrient requirements of heavy pigs in Italy. *Italian Journal of Animal Science*, 2: 73-87.
- Niewold T.A. 2015. Chapter 9: Intestinal health biomarkers in vivo. In *Intestinal health: Key to maximise growth performance in livestock* Wageningen Academic Publishers: 717-721.

- NRC, 2012. Nutrient Requirements of Swine, 11th rev. ed. Natl. Acad. Press, Washington, DC.
- Picó C., Serra F., Rodríguez A.M., Keijer J., Palou A. 2019. Biomarkers of nutrition and health: New tools for new approaches. *Nutrients*, 11(5): 1092-1122.
- Pirlo G., Carè S., Casa G. D., Marchetti R., Ponzoni G., Faeti V., Fantin V.C, Masoni P.C, Buttol P.C, Zerbinatti L.D, Falconi F. 2016. Environmental impact of heavy pig production in a sample of Italian farms. A cradle to farm-gate analysis. *Science of the Total Environment*, 565, 576-585. doi:10.1016/j.scitotenv.2016.04.174.
- Pluske J.R. 2013. Feed- and feed additives-related aspects of gut health and development in weanling pigs. *Journal of Animal Science Biotechnology*, 4: 1-7.
- Randall G. W., Vetsch J. A. 2005. Corn production on a subsurface-drained mollisol as affected by fall versus spring application of nitrogen and nitrapyrin. *Agronomy journal*, 97(2), 472-478.
- Regione Lombardia, 2020. Sistemi di produzione integrata nelle filiere agroalimentari. Norme tecniche agronomiche per i Regolamenti 1182/07/CE, 1234/07/CE, 543/11/UE, 1308/13/UE.
- Rossi P., Gastaldo A., Pignedoli S. 2011. Consumi energetici e produzione di energia fotovoltaica in zootecnia: Negli allevamenti suinicoli la ventilazione assorbe il 50% dell'elettricità. *I Supplementi di Agricoltura*, 47, 20-23.
- Rossi R., Stella S., Ratti S., Maghin F., Tirloni F., Corino C. 2017. Effects of antioxidant mixtures in the diet of finishing pigs on the oxidative status and shelf life of longissimus dorsi muscle packaged under modified atmosphere. *J. Anim. Sci.* 95: 4986-4997.
- Rossi R., Corino C. 2002. Influence of long-term nutrition with different dietary fats on fatty acid composition of heavy pigs backfat. *Italian Journal of Animal Science*, 1: 1,7-16, doi:10.4081/ijas.2002.7.
- Ruser R., Schulz R. 2015. The effect of nitrification inhibitors on the nitrous oxide (N₂O) release from agricultural soils—a review. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science* 178, 171–188. doi:10.1002/jpln.201400251.
- Santonja G. G., Georgitzikis K., Scalet B. M., Montobbio P., Roudier S., Sancho L. D. 2017. Best Available Techniques (BAT) Reference Document for the Intensive Rearing of Poultry or Pigs - Industrial Emissions Directive 2010/75/EU (Integrated Pollution Prevention and Control); EUR 28674 EN; doi:10.2760/020485.
- Schiavon S., Carraro L., Dalla Bona M., Cesaro G., Carnier P., Tagliapietra F., Sturaro E., Galassi G., Malagutti L., Trevisi E., Crovetto G.M., Cecchinato A., Gallo L., 2015. Growth performance, and carcass and raw ham quality of crossbred heavy pigs from four genetic groups fed low protein diets for dry-cured ham production. *Animal Feed Science and Technology*, 208: 170-181.
- Schiavon S., Dal Maso M., Cattani M., Tagliapietra F. 2009. A simplified approach to calculate slurry production of growing pigs at farm level. *Italian Journal of Animal Science*, 8: 431-455.
- Schröder J., Bechini L., Bittman S., Brito M., Delin S., Lalor S., Morvan T., Chambers B., Sakrabani R., Sørensen P. 2013. Residual N effects from livestock manure inputs to soils, in: *Recycling of Organic Residues in Agriculture: From Waste Management to Ecosystem Services*. Presented at the RAMIRAN 2013 - 15th International Conference, RAMIRAN - Network on Recycling of Agricultural, Municipal and Industrial Residues in Agriculture, Versailles, France.
- Schröder J.J., Vermeulen G.D., van der Schoot J.R., van Dijk W., Huijsmans J.F.M., Meuffels G.J.H.M., van der Schans D.A. 2015. Maize yields benefit from injected manure positioned in bands. *European Journal of Agronomy* 64: 29–36. doi:10.1016/j.eja.2014.12.011.
- Semitela S., Martins F., Coutinho J., Cabral F., Fangueiro D. 2013. Ammonia emissions and potential nitrate leaching in soil amended with cattle slurry: effects of slurry pre-treatment by acidification and/or soil application method. In: *Proceedings from the 15th Ramiran Conference*, Versailles, Paris.
- Sommer S.G., Jensen L.S., Christensen M.L., Schmidt T. (Eds.), 2013. *Animal manure: recycling, treatment, and management*. John Wiley & Sons, Inc, Atrium, Southern Gate, Chichester, West Sussex.
- Sørensen P., Bechini L., Jensen L.S. 2019. Manure management in organic farming, in: *Improving Organic Crop Cultivation*, Burleigh Dodds Series in Agricultural Science. Burleigh Dodds Science Publishing, pp. 179–209. doi:10.19103/AS.2017.0029.07
- Thapa R., Mirsky S.B., Tully K.L. 2018. Cover Crops Reduce Nitrate Leaching in Agroecosystems: A Global Meta-Analysis. *Journal of Environmental Quality* 47: 1400–1411. doi:10.2134/jeq2018.03.0107.
- Tonitto C., David M.B., Drinkwater L.E. 2006. Replacing bare fallows with cover crops in fertilizer-intensive cropping systems: A meta-analysis of crop yield and N dynamics. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 112: 58–72. doi:10.1016/j.agee.2005.07.003.
- Ulens T., Millet S., Van Ransbeeck N., Van Weyenberg S., Van Langenhove H., Demeyer P. 2014. The effect of different pen cleaning techniques and housing systems on indoor concentrations of particulate matter, ammonia and greenhouse gases (CO₂, CH₄, N₂O). *Livestock Science*, 159(1), 123-132. doi:10.1016/j.livsci.2013.10.024.
- Van der Wielen P., Biesterveld S., Notermans S., Hofstra H., Uurlings B. van Knapen, F. 2000. Role of Volatile Fatty Acids in Development of the Cecal Microflora in Broiler Chickens during Growth. *Applied and Environmental Microbiology*, 66(6): 2536-2540.
- Velthof G. L., Mosquera J. 2011. The impact of slurry application technique on nitrous oxide emission from agricultural soils. *Agriculture, ecosystems & environment*, 140(1-2), 298-308.
- Verbeke K.A., Boobis A.R., Chiodini A., Edwards C.A., Franck A., Kleerebezem M., Nauta A., Raes J., van Tol E.A., Tuohy K.M. 2015. Towards microbial fermentation metabolites as markers for health benefits of prebiotics. *Nutrition Research Reviews*, 28: 42-66.

Intensificazione sostenibile nella filiera vite-vino

Failla O.¹, Gerbi V.², Balducci A.³, Bonfante A.⁴, Borin S.⁵, Boselli E.⁶, Budroni M.⁷, Cardinale M.⁸, Cocolin L.², Foschino R.⁵, Giacosa S.², Longo E.⁶, Lucchi A.⁹, Mannazzu I.⁷, Mencarelli F.¹⁰, Montali M.⁶, Parpinello G.P.³, Poggesi S.⁶, Priori S.¹⁰, Ragni L.³, Rantsiou K.², Ricci A.³, Rolle L.², Romano P.¹², Romanazzi G.¹³, Serantoni M.³, Ugliano M.¹⁴, Vasileios E.², Versari A.³, Vigentini I.⁵, Vieri M.¹⁵, Zenoni S.¹⁴

¹Dipartimento di Scienze Agrarie ed Ambientali, Università di Milano

²Dipartimento di Scienze Agrarie, Forestali e Alimentari, Università di Torino

³Dipartimento di Scienze e Tecnologie Agroalimentari, Università di Bologna

⁴CNR-ISAFOM, Portici, Napoli

⁵Dipartimento of Food, Environmental and Nutritional Sciences, Università di Milano

⁶Libera Università di Bolzano

⁷Dipartimento di Agraria, Università degli Studi di Sassari

⁸Dipartimento di Scienze e Tecnologie Biologiche e Ambientali, Università del Salento

⁹Dipartimento di Scienze Agrarie, Alimentari e Agro-ambientali, Università di Pisa

¹⁰Dipartimento di Scienze Agrarie e Forestali, Università della Tuscia, Viterbo

¹²Facoltà di Economia, Universitas Mercatorum, Roma

¹³Dipartimento di Scienze Agrarie, Alimentari ed Ambientali, Università Politecnica delle Marche

¹⁴Dipartimento di Biotecnologie, Università di Verona

¹⁵Scienze e Tecnologie Agrarie, Alimentari, Ambientali e Forestali, Università di Firenze

Riassunto

La sostenibilità della filiera vitivinicola si realizza tenendo conto degli aspetti tipicamente agronomici e ambientali che riguardano la coltivazione della vite (gestione del suolo, difesa fitosanitaria, impronta carbonica e idrica) e di quelli più di tipo industriale attinenti la trasformazione in vino, dove assumono importanza i consumi energetici, quelli idrici, l'impatto delle acque reflue sui corpi d'acqua, le modalità di confezionamento e i trasporti, anche a lunga distanza. Per affrontare adeguatamente il tema della sostenibilità occorrono quindi competenze diverse che si devono integrare in sistemi complessi di gestione, più facilmente gestibili se inseriti in un sistema di certificazione che preveda tutti gli aspetti della sostenibilità: ambientale, economica ed etica.

Abstract

The sustainability of the wine production chain is achieved by considering the typically agronomic and environmental aspects concerning the cultivation of the vine (soil management, phytosanitary protection, carbon and water footprint) and the more industrial ones relating to the transformation into wine, where energy consumption, water, the impact of wastewater on water bodies, packaging methods and transport, even over long distances, assume great importance. Therefore, in order to adequately address the issue of sustainability, different skills are needed which must be integrated into complex management systems, more easily manageable if included in a certification system that includes all aspects of sustainability: environment, economy and ethics.

Keywords: viticoltura, enologia, sostenibilità, filiera, etica

Introduzione

I mezzi di comunicazione di massa si interessano sempre più frequentemente di viticoltura ed enologia, proponendo situazioni non sempre rappresentative della realtà e delle difficoltà che i produttori sono chiamati ad affrontare. L'opinione pubblica ha la percezione che la sostenibilità consista nel non usare "pesticidi" nei vigneti e abolire i diserbanti. Nella fase di

trasformazione in vino il concetto si traduce nel non usare additivi e tecnologie moderne nel processo di vinificazione. Adottare tali comportamenti conferisce al vino una immagine di naturalità e lo fa apparire conciliabile con il rispetto dell'ambiente, quindi sostenibile.

Questa visione in realtà è semplificatoria e non considera che la sostenibilità è un concetto più ampio ed articolato, in cui la difesa è uno degli aspetti importanti, ma vanno considerati anche gli impatti ambientali, economici e sociali nell'intero ciclo di produzione, puntando a ridurre o annullare l'impatto sull'ambiente, ma allo stesso tempo consentire di produrre vino di alta qualità.

Per produrre in modo sostenibile occorre sapere di più, quindi occorre innovare applicando conoscenze scientifiche e raggiungere un alto livello di naturalità del prodotto mantenendo le caratteristiche di eccellenza e conservabilità che ne consentano la diffusione sui mercati. Non si possono quindi immaginare una viticoltura ed una enologia che rifiutino la conoscenza e disegnino una visione bucolica della produzione, destinata al consumo esclusivamente locale.

Le pratiche in vigneto saranno decise in modo mirato, commisurate ad un reale bisogno, assumendo le decisioni in base a misure ambientali fatte con sistemi avanzati, quali quelli proposti dalla viticoltura di precisione. Anche in cantina la sensibilità è cambiata: oltre ad una riduzione di additivi e conservanti, resa possibile da una migliore pulizia e da una gestione enologica basata sulle nuove conoscenze chimiche e microbiologiche, si considera con nuova attenzione la riduzione della emissione di gas carbonico, la gestione delle acque reflue ed il loro impatto sui corpi d'acqua recettori degli scarichi.

Più in generale riteniamo importante ricordare la definizione di sostenibilità adottata dall'assemblea generale dell'OIV - Organizzazione Internazionale della Vigna e del Vino, su proposta del dal Comitato Tecnico Scientifico, già nel 2004: *“approccio globale commisurato ai sistemi di produzione e di trasformazione delle uve, associando contemporaneamente la longevità economica delle strutture e dei territori, l'ottenimento di prodotti di qualità, la presa in considerazione delle esigenze di una viticoltura di precisione, dei rischi legati all'ambiente, alla sicurezza dei prodotti, alla salute e dei consumatori e la valorizzazione degli aspetti patrimoniali, storici, culturali, ecologici ed estetici”* (OIV, 2004).

Viticultura sostenibile

Nell'ambito delle istituzioni di ricerca particolarmente dedicate alla ricerca in viticoltura, negli ultimi anni sono stati compiuti significativi progressi, in larga parte già trasferiti al modo produttivo, in relazione alle seguenti grandi tematiche (Peterlungher et al., 2021):

- conoscenza delle basi genetiche e fisiologiche della resilienza agronomica della vite;
- messa a punto di tecniche colturali per l'adattamento alla nuova fase climatica con particolare riferimento a manipolazioni della chioma, potature tardive e irrigazione;
- viticoltura di precisione per la caratterizzazione della variabilità spaziale all'interno dei vigneti e la valutazione delle conseguenze in termini produttivi e qualitativi;
- costituzione di nuovi vitigni di *Vitis vinifera* resistenti a peronospora e oidio;
- costituzione di nuovi portinnesti resistenti a stress abiotici.

Il contributo della genetica agraria e della protezione delle piante

La viticoltura è una delle pratiche agricole a più elevato impatto ambientale in Europa, in quanto la protezione della vite dalle avversità biotiche (malattie e fitofagi) assorbe circa il 65% dell'uso di agrofarmaci utilizzato in Europa. Inoltre, la coltura è soggetta a stress abiotici, quali

siccità ed elevata temperatura, di notevole importanza nell'ambito del contesto climatico. Il contributo riassume alcune delle attività svolte dalla Società Italiana di Genetica Agraria (SIGA) e dall'Associazione Italiana per la Protezione delle Piante (AIPP) in ambito vitivinicolo. La comunità scientifica sta dando un contributo alla produzione sostenibile della vite attraverso una serie di attività, fra cui a) l'uso di sostanze di base per la protezione dalle malattie; b) l'uso di molecole innovative che a livello sperimentale si sono dimostrate particolarmente promettenti; c) l'identificazione e lo studio di caratteri per la resistenza a stress biotici, in particolare ad oidio e peronospora. La protezione della vite dalle malattie, e in particolare dalla peronospora, che può richiedere anche fin a 15 trattamenti per anno, ha un impatto ambientale rilevante e tutte le strategie che possono limitare tale impatto sono benvenute, tenendo conto che, in caso di annate particolarmente umide o errori nelle strategie di protezione, la malattia può portare anche all'azzeramento della produzione. Un principio attivo fondamentale nella protezione antiperonosporica, ed in pratica l'unico con consolidata efficacia applicato in regime biologico è il rame, che tuttavia è un prodotto "candidato alla sostituzione", approvato per l'uso per un periodo di soli 7 anni con il Reg. 2018/1981, con la limitazione a 4 kg per ettaro annui e l'incertezza su un possibile rinnovo dell'autorizzazione. Diverse sperimentazioni sono attive a livello nazionale per individuare alternative al rame, e fra queste una buona attività, paragonabile a quella ottenuta con i trattamenti cuprici, è stata fornita da un biopolimero naturale chiamato chitosano, approvato come sostanza di base (Reg. 563/2014) poiché da tempo facente parte dell'alimentazione umana in quanto utilizzato nelle diete dimagranti (Romanazzi et al., 2021). Un secondo esempio di possibile innovazione nella protezione antiperonosporica consiste nell'utilizzazione di molecole proteiche, note come aptameri, in grado di bloccare l'attività di specifici enzimi del patogeno, così da limitarne lo sviluppo. Tale attività è stata applicata con successo a *Plasmopara viticola*, agente di peronospora della vite, utilizzando come bersaglio dell'aptamero peptidico NoPv1 l'enzima celluloso sintetasi 2 (Colombo et al., 2020). Un terzo approccio consiste nel rendere le viti più resistenti alle malattie, attraverso strategie di genotipizzazione, che mirano ad identificare nuove fonti di resistenza nel germoplasma della vite (Possamai et al., 2020), tra queste anche fonti di resistenza di *Vitis vinifera* di origine caucasica (Sargolzaei et al., 2020).

Lo sviluppo di nuove varietà con parziale resistenza a peronospora, attraverso incrocio tradizionale rappresenta una soluzione sostenibile ed efficace per la gestione della malattia. L'Università di Udine e i vivai Rauscedo hanno prodotto 10 ibridi resistenti iscritti nel registro varietale italiano nel 2015: Fleurtaï, B., Soreli, B., Julius, N., Cabernet Eidos, N., Cabernet Volos, N., Merlot Kanthus, N., Merlot Khorus, N., Sauvignon Kretos, B., Sauvignon Nepis, B. e Sauvignon Rytos, B. Gli ibridi sono ammessi nella produzione dei vini da tavola e degli IGT. Richiedono solo 2-3 trattamenti anticrittogamici all'anno e quindi appaiono particolarmente indicati in prossimità degli insediamenti e comunque delle abitazioni, perché comportano un rilevante vantaggio ambientale. Quattro varietà di vite tolleranti alle più importanti malattie fungine, oidio e peronospora, F22P9 (Incrocio Teroldego x Merzling), F22P10 (Incrocio Teroldego x Merzling), F23P65 (incrocio Merzling x FR945-60) e F26P92 (incrocio Nosiola x Bianca), sono state selezionate dalla Fondazione Edmund Mach ed iscritte nel Registro nazionale delle varietà di vite.

Rpv3-1 rappresenta l'aplotipo di resistenza più sfruttato in viticoltura (Di Gaspero et al., 2012), in grado di indurre una risposta immune e una necrosi localizzata in risposta ad un ampio range di ceppi di *P. viticola*. Sono stati recentemente identificati i geni candidati nell'intervallo genetico del locus Rpv3-1, si tratta di due geni TIR-NB-LRR (TNL), TNL2a e TNL2b, la cui sovra espressione in foglie di Syrah induce spot necrotici e una significativa riduzione della

sporulazione del patogeno (Foria et al., 2020). Si è osservato uno sbilanciamento di espressione tra gli alleli dei due geni in genotipi resistenti eterozigoti, dimostrando l'esistenza di una variazione strutturale nella regione regolativa in cis nell'aplotipo selvatico che ne induce l'espressione (Foria et al., 2020).

L'identificazione di geni candidati da utilizzare in programmi di miglioramento genetico per una produzione sostenibile in viticoltura si basa anche su approcci genomici e trascrittomici che, oltre a proporre nuovi candidati, tentano di definirne il meccanismo molecolare d'azione. Recentemente sono stati identificati alcuni membri della famiglia RNL (RPW8-NLRs) potenzialmente coinvolti nella risposta ad oidio (Andolfo et al., 2020), sono state definite le dinamiche molecolari durante l'attacco contemporaneo di diversi patogeni in vite, evidenziando come l'interazione tra genotipo e virus giochi un ruolo cruciale nell'attivare risposte di difesa della pianta verso oidio e peronospora (Gilardi et al., 2020). Sono stati identificati geni direttamente coinvolti nella risposta ad elicitori contro l'oidio in Moscato e Nebbiolo (Pagliarani et al., 2020) e sono state caratterizzate le modifiche molecolari indotte da prodotti per il biocontrollo su bacche di Nebbiolo alla maturazione (Balestrini et al., 2020). Un recente studio trascrittomico comparativo condotto su cultivar caratterizzate da diversi gradi di resistenza a peronospora ha permesso di identificare alcuni geni la cui espressione può essere associata a meccanismi di difesa, tra cui geni coinvolti nell'apoptosi, e geni potenzialmente coinvolti nella suscettibilità a peronospora (Toffolatti et al., 2020).

Per quanto riguarda la resistenza a stress abiotici, gli studi si sono principalmente focalizzati su genotipi di portainnesti con diversa tolleranza alla siccità. Il confronto tra il genotipo M4 tollerante alla siccità, con il genotipo 101.14 meno tollerante, ha evidenziato una maggiore induzione di geni coinvolti nella biosintesi del resveratrolo e dei flavonoidi in M4, suggerendo che l'elevata sintesi di resveratrolo aumenta la capacità della pianta di far fronte allo stress ossidativo, solitamente associato al deficit idrico (Corso et al., 2015). Studi comparativi basati su approcci proteomici e metabolomici hanno evidenziato che le risposte osmotiche, le modulazioni del metabolismo del carbonio, e la funzionalità mitocondriale giocano un ruolo primario in *Vitis* spp. nella tolleranza a stress idrico (Prinsi et al., 2018). Più recentemente, uno studio condotto sul genotipo 101.14, suscettibile alla clorosi ferrica, e sul portainnesto tollerante M1, ha permesso di identificare geni la cui espressione è associata ai diversi gradi di tolleranza che caratterizzano i due portainnesti (Vannozzi et al., 2017).

Tra i più moderni approcci biotecnologici sviluppati al fine di contrastare lo sviluppo del patogeno, la diretta somministrazione di molecole di RNA a doppio filamento, mirate di inibire l'espressione di specifici geni del patogeno e a ridurre quindi la virulenza, rappresenta un'interessante opportunità. Questo approccio è stato recentemente utilizzato sulla cultivar Moscato, sensibile a Botrite. La somministrazione di molecole di RNA a doppio filamento, sintetizzate sulla base delle sequenze di tre geni del fungo, è avvenuta attraverso spray diretto sulle foglie e su bacche in post-raccolta, e tramite assorbimento dal peduncolo fogliare. Lo studio dimostra che il sistema è efficace per ridurre la virulenza del fungo, indipendentemente dalla modalità di somministrazione, fornendo una valida e sostenibile alternativa alla protezione della vite in pre- e post-raccolta (Nerva et al., 2020).

Sono state prodotte piante transgeniche con alterati livelli di espressione di alcuni candidati noti in altre specie o identificati con approcci genomici e trascrittomici, al fine di determinare la funzione in *V. vinifera*. Per quanto riguarda la resistenza all'oidio, quattro membri della famiglia genica MLO, già noti per essere coinvolti in processi di suscettibilità verso l'oidio in diverse specie, sono stati silenziati tramite approccio dell'RNA interfering nella cultivar Brachetto, dimostrando che il contemporaneo spegnimento di alcuni di essi riduce

significativamente la suscettibilità all'oidio (Pessina et al., 2016). Recentemente sono state prodotte viti transgeniche di Shiraz sovra-esprimenti il gene VriATL156, codificante per una ligasi E3, identificato in *Vitis riparia* come possibile candidato per la resistenza a peronospora. Le piante prodotte hanno manifestato una significativa riduzione della suscettibilità al patogeno, dimostrando il diretto coinvolgimento di questo gene nei meccanismi di difesa da peronospora (Vandelle et al., 2021).

La sfida più importante che la SIGA si sta ponendo è l'applicazione delle tecnologie di evoluzione assistita (TEA) alla vite al fine di sviluppare cloni editati e migliorati da utilizzare per una viticoltura sostenibile. Le conoscenze genetiche acquisite fino ad oggi potrebbero essere sfruttate per produrre piante migliorate in grado di far fronte all'attacco di patogeni e di richiedere quantità ridotte di trattamenti chimici che hanno un elevato impatto ambientale. Le tecnologie di evoluzione assistita si basano sugli approcci di cis-genesi e di editing genomico tramite l'utilizzo del sistema CRISPR/Cas. Ciò che ostacola maggiormente la produzione di cloni cis-genetici ed editati è la scarsa efficienza di rigenerazione che caratterizza l'embriogenesi di vite e il fatto che l'efficienza sia fortemente dipendente dalla varietà. Ad oggi si è dimostrata la possibilità di inserire direttamente il complesso molecolare CRISPR/Cas in protoplasti della cultivar Chardonnay, senza passare dalla transgenesi classica, e la capacità di tale complesso di indurre la mutazione esattamente nella sequenza di interesse (Malnoy et al., 2016; Osakabe et al., 2018). Si è inoltre dimostrata la capacità di rigenerazione dell'intera pianta da singolo protoplasto per le cultivar Sangiovese e Garganega (Bertini et al., 2019). Tuttavia, ad oggi non sono state prodotte piante di vite editate attraverso la rigenerazione di protoplasti.

L'AIPP sta focalizzando il proprio interesse sulla definizione di strategie di protezione dalle avversità che tengano conto delle richieste dell'Unione Europea, in particolare di quanto previsto dalla Strategia Farm to Fork dell'European Green Deal, che fra le diverse misure prevede nel prossimo decennio il dimezzamento dell'uso degli agrofarmaci più pericolosi, l'incremento al 25% delle superfici a biologico ed il dimezzamento degli sprechi di prodotti alimentari, con particolare riferimento al settore ortofrutticolo, dove le derrate sono soggette per lo più ad attacchi di organismi fitopatogeni agenti di marciumi postraccolta. In tale contesto, non si può non tener conto della riduzione del numero di agrofarmaci disponibili per l'agricoltore, che talvolta rende più complesso il controllo di avversità in precedenza gestite senza grossi problemi. A ciò si associano le crescenti e non sempre giustificate richieste della grande distribuzione di prodotti ortofrutticoli con numero e/o concentrazioni di residui ben al di sotto dei limiti di legge, che rende sempre più complessa l'attività degli agricoltori e dei consulenti fitosanitari, i quali per ottemperare a tali richieste hanno difficoltà ad attuare pienamente le strategie che prevenivano fenomeni di resistenza e allo stesso tempo portare all'ottenimento di produzioni con le quantità e qualità richieste dal consumatore.

Dal laboratorio al pieno campo: un progetto pilota per la difesa entomologica in vigneti della Toscana litoranea

I vigneti della DOC Bolgheri (circa 1200 ettari) hanno subito in anni recenti pesanti infestazioni da parte di *Lobesia botrana* e *Planococcus ficus*. La necessità di intervenire di continuo con insetticidi, nonostante i trattamenti effettuati negli anni precedenti ed 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.

Dopo alcune attività preliminari avviate nel 2014, il progetto è ufficialmente partito a Guado al Tasso nel 2015, con la confusione sessuale 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* (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. 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. La condivisione dei risultati ottenuti ha avuto come primo e gradito effetto l'adesione al progetto da parte di piccole e grandi aziende del territorio. Con nostra grande soddisfazione, nel 2017 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 ad una drastica riduzione delle popolazioni dei due insetti, cosicché altre aziende si sono aggiunte e l'area gestita con feromoni 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).

Conservazione del suolo e aumento della fertilità

Una buona conoscenza delle caratteristiche del suolo e della loro variabilità spaziale (verticale ed orizzontale) permette di ottimizzare la gestione del vigneto alle specifiche condizioni pedoclimatiche per il raggiungimento del potenziale enologico fissato.

Le variabilità nella risposta viticola, talvolta osservabili all'interno di un vigneto, sono nella maggior parte dei casi attribuibili alla variazione spaziale delle funzioni ecosistemiche del suolo. Per funzioni ecosistemiche s'intende non solamente la capacità del suolo di supportare la crescita delle piante, ma anche la capacità di trattenere acqua e regolare i flussi idrici, di sequestrare carbonio, di trasformare i residui organici e contribuire al ciclo dei nutrienti tramite l'attività biologica.

La viticoltura ha generalmente un forte impatto sulle funzioni ecosistemiche del suolo per vari motivi, sia legati alla natura del vigneto che alle scelte agronomiche. Spesso i vigneti sono presenti in morfologie di versante, quindi soggette ad erosione, e su suoli marginali, sottili e poco fertili. Questo è legato alla natura ruderale della vite, che si adatta anche a questi terreni marginali ed anzi dà il meglio proprio nei suoli meno fertili. Questa caratteristica intrinseca della viticoltura rende però i suoli in vigneto meno resilienti ai disturbi esterni rispetto ai suoli profondi di pianura. È quindi necessario porre una maggiore attenzione alla gestione dei suoli in vigneto, sia perché basta poco per peggiorare la funzionalità dei suoli, sia perché un peggioramento delle funzionalità del suolo è più difficilmente recuperabile in una coltura perenne come la vite rispetto ad una coltura erbacea annuale.

La gestione ottimale del suolo in vigneto coinvolge due fasi.

Fase progettazione nuovi impianti: la conoscenza delle caratteristiche del suolo e della loro variabilità spaziale è essenziale per progettare al meglio un nuovo impianto (o un preimpianto) ed evitare azioni che potrebbero portare ad un peggioramento delle caratteristiche funzionali dello stesso. Nella fase di scasso e di livellamento di un nuovo vigneto, un suolo può essere troncato, sepolto, gli orizzonti sotto-superficiali rimescolati con quelli di superficie, può perdere per mineralizzazione una grossa quantità di sostanza organica, può fortemente peggiorare la struttura e la sua stabilità. Inoltre, la riorganizzazione in nuovi orizzonti a seguito del rimescolamento modificare notevolmente la gestione dell'acqua per la pianta favorendo lo stress idrico esacerbando gli effetti del cambiamento climatico sulla vigna, aumentando i costi di gestione e favorendo processi degradativi (gestione non sostenibile). Quindi, uno studio preliminare delle caratteristiche e della variabilità spaziale dei suoli è fondamentale per la progettazione di un nuovo vigneto. Per tale scopo, si sono sviluppati sul mercato servizi di rilevamento della variabilità spaziale del suolo basati sull'uso di sensori prossimali, in particolare incentrati sull'utilizzo di sensori ad induzione elettromagnetica (EMI). Questo tipo di sensori misura la conducibilità elettrica apparente (ECa, in mS/m) del suolo a diverse profondità (misura integrata), senza necessità di un contatto diretto con il suolo, ma solamente con la misura dell'attenuazione di un campo elettromagnetico generato dallo strumento. La ECa è fortemente correlata con la tessitura (in particolare all'argilla), la pietrosità, la profondità del suolo, il contenuto idrico e la salinità. Si ottiene così una mappa di alto dettaglio che individua la "variabilità del suolo" all'interno dell'appezzamento (Fig. 1). Tale variabilità dovrà poi essere validata attraverso osservazioni dirette, trivellate e profili, e analisi di laboratorio in punti mirati, per poter ottenere una carta dei suoli di alto dettaglio da cui partire per la progettazione di un nuovo vigneto (Bonfante et al., 2015; Priori et al., 2018).

Fase gestione del suolo in vigneti esistenti: una ottimale gestione del suolo dovrebbe tenere conto della sua variabilità interna al vigneto. Tale conoscenza consente di gestire al meglio la vigna in termini di sostenibilità economica ed ambientale. In un vigneto, a pochi metri di distanza, si possono individuare suoli eccessivamente fertili che tendono a dare eccessiva vigoria alla vite, zone con ristagni idrici, con carenze o squilibri nutrizionali, con ridotta disponibilità idrica o suscettibili a rischio erosione. Talvolta tali condizioni non sono naturali ma determinate dalla fase d'impianto del vigneto. Quindi è necessaria una gestione sostenibile

e sito-specifica del suolo per rendere il vigneto più “omogeneo”, in termini di risposta colturale, e più resiliente agli stress biotici e abiotici. Per fare ciò è necessario procedere all’identificazione delle zone omogenee (HZs) espresse in termini di omogeneità dei caratteri intrinseci del vigneto (es. suolo, pendenza, esposizione ecc.), fino ad arrivare alla definizione delle aree funzionali omogenee (fHZs) definite sulla base delle risposte colturali attese (Bonfante et al., 2015, 2017; Priori et al., 2019).

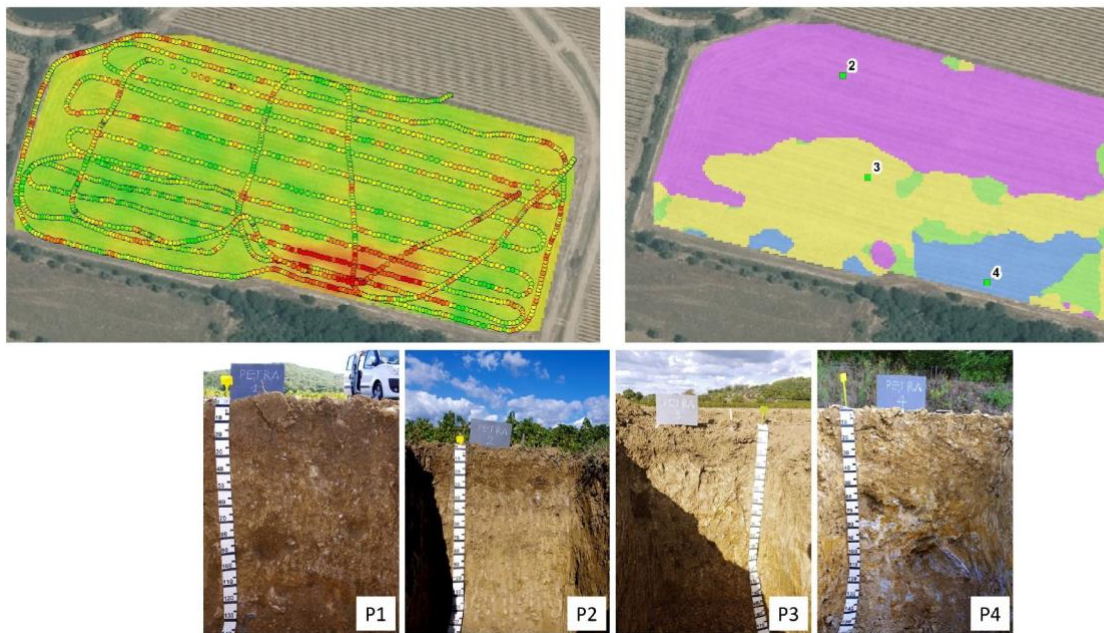


Figura 1. Rilevamento con sensore ad induzione elettromagnetica nelle fasi pre-impianto di un nuovo vigneto, con interpolazione dei dati per ottenere la carta di ECa. A destra, mappatura dei suoli ad alto dettaglio ottenuta da una clusterizzazione delle carte di ECa. In basso i quattro profili descritti ed analizzati per la definizione delle unità cartografiche (Priori et al., 2018, modif.)

Esistono diverse procedure per arrivare alla definizione della HZs, basate su procedure di zonazione viticola più o meno complesse. In ogni caso esse partono da uno studio della geomorfologia del territorio nell’identificazione delle diverse forme del paesaggio, studio della variabilità spaziale del suolo e del clima (micro/meso scala). Anche in questo caso l’utilizzo di tecnologie innovative, come i sensori prossimali, permette di ottenere una grande quantità di dati ed un’alta risoluzione spaziale, in breve tempo e costi ridotti. La descrizione di profili di suolo, rivolta alla caratterizzazione degli orizzonti superficiali e profondi, di eventuali limitazioni allo sviluppo radicale della vite, del drenaggio interno del suolo, nonché le analisi di laboratorio, saranno effettuate su pochi punti selezionati, così da descrivere la massima variabilità presente nel vigneto.

La definizione delle fHZs si ottiene partendo dall’identificazione delle HZs e della valutazione della risposta colturale all’interno delle stesse. Tale risposta potrà essere definita attraverso: i) analisi retrospettive da immagini da satellite (remote sensing) (Brook et al., 2020); ii) dendro analisi (Brook et al., 2020; De Micco et al., 2018); simulazioni modellistiche del sistema suolo-pianta-atmosfera (SPA) delle zone omogenee (Bonfante et al., 2015, 2017).

La mappa delle fHZs di un vigneto consente di ottimizzare il posizionamento di eventuali sensori per il monitoraggio attraverso piattaforme IOT, coprendo la variabilità “ambientale” del

vigneto e riducendo il numero ed i relativi costi di esercizio degli stessi. Inoltre, può essere la base per programmare una gestione sito-specifica del vigneto che può includere concimazioni a rateo variabile, uso di cover crop dove necessario, potature, diradamenti e vendemmie selettive (Fig. 2).

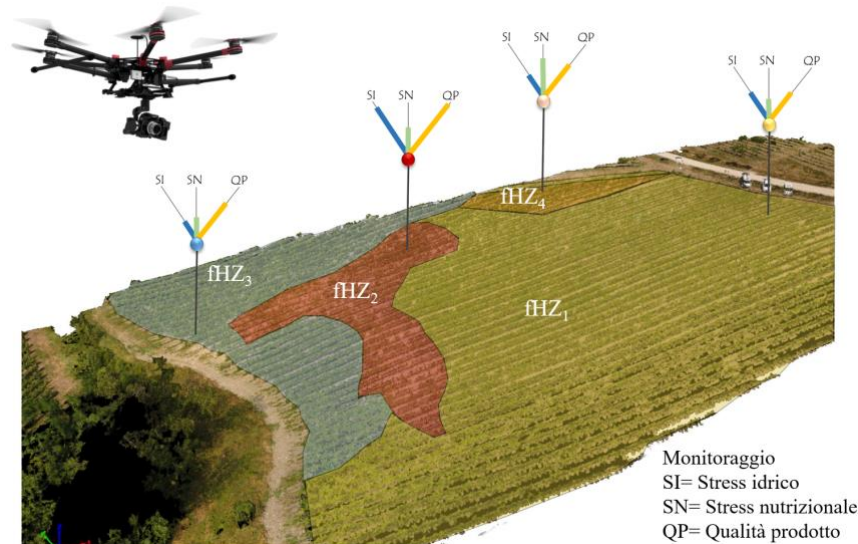


Figura 2. Identificazione delle zone omogenee (HZs) espressi in termini di omogeneità dei caratteri intrinseci del vigneto (es. suolo, pendenza, esposizione ecc.) e relativa definizione delle aree funzionali omogenee (fHZs) sulla base delle risposte colturali attese (Bonfante et al., 2015, 2017; Priori et al., 2019).

Il contributo della microbiologia applicata alla viticoltura

Nell'ambito della microbiologia ambientale, la diversità microbica dei suoli e del vigneto viene investigata allo scopo di sfruttare i microrganismi come indicatori primari dell'influenza dei fattori esterni sulla biodiversità del vigneto nel suo complesso, per la valutazione dello stato di salute e della qualità dei suoli, e quindi della produzione di prodotti vitivinicoli di qualità, e come agenti efficaci nella messa a punto di pratiche agronomiche innovative e sostenibili di gestione della vigna.

I microrganismi partecipano alla maggior parte dei processi biogeochimici del suolo svolgendo un ruolo fondamentale nel ciclo dei nutrienti e nel mantenimento della fertilità. In particolare, i microrganismi benefici sono coinvolti in importanti funzioni della pianta: fisiologia, stato di salute, nutrizione, crescita, qualità e resa del prodotto e tolleranza agli stress [Mapelli et al., 2017].

Questo fa sì che pianta e plant microbiome costituiscano un meta-organismo dove entrambi partecipano alla performance, fitness ed ecologia dell'olobionte. Questa interazione viene quindi studiata al fine di isolare e selezionare ceppi microbici coinvolti nella promozione della crescita, nell'aumento della produttività e nella mitigazione dello stress idrico e salino della pianta (Fig. 3). In particolare, lo sfruttamento della risorsa microbica con attività biofertilizzante e biostimolante può contribuire allo sviluppo di un'agricoltura sostenibile ed in grado di contrastare gli effetti del cambiamento climatico (Marasco et al., 2011; Marasco et al., 2013).

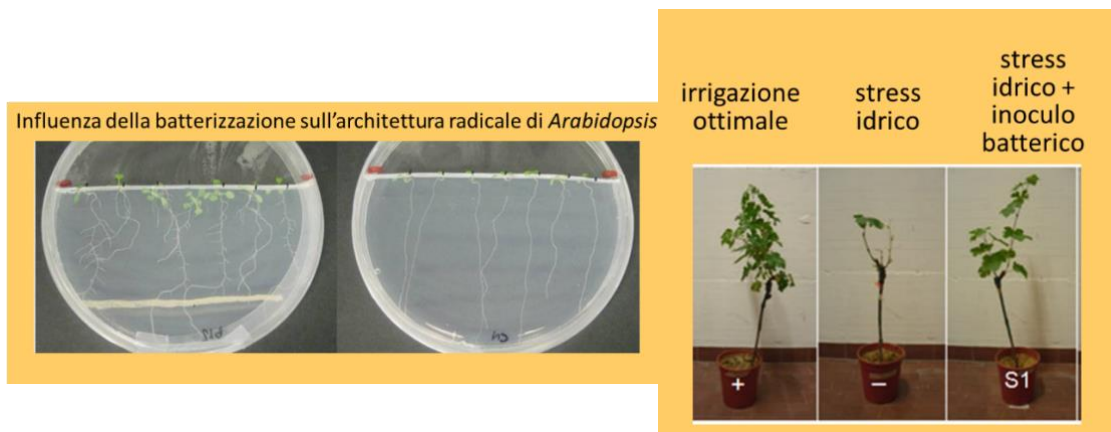


Figura 3. Esempi dell'effetto di ceppi microbici coinvolti nella promozione della crescita, nell'aumento della produttività e nella mitigazione dello stress idrico e salino della pianta

Anche le micorrize, funghi del suolo che instaurano simbiosi con molte specie di piante, sono in grado di formare un'espansione dell'apparato radicale fornendo alle piante accesso ad una maggiore quantità di acqua e di nutrienti minerali come fosforo e azoto. In viticoltura, l'uso delle micorrize può essere un approccio molto utile per l'adattamento al cambiamento climatico, soprattutto in termini di aumento della resistenza alla siccità e risparmio di acqua per l'irrigazione. In un esperimento preliminare condotto in Salento, portainnesti 1103 Paulsen, micorrizzati e non ($n=64$), sono stati impiantati per simulare l'aumento futuro della temperatura e della siccità. I risultati mostrano un miglioramento drastico nella performance di crescita delle piante micorrizzate: sia l'area fogliare che la biomassa accumulata presentavano un fold change > 3 nelle piante micorrizzate rispetto alle piante controllo.

Infine, sempre lo studio della biodiversità e delle interazioni microbiche a livello del vigneto può condurre a molteplici risultati potenzialmente applicativi in favore della difesa della vite; programmi di biocontrollo, infatti, sono volti ad identificare specie batteriche e fungine che fungano da antagonisti naturali allo sviluppo di malattie della pianta, al fine di diminuire l'impiego di fitofarmaci in agricoltura.

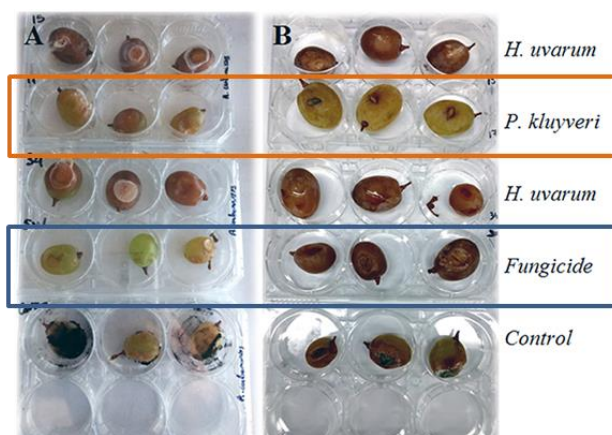


Figura 4. Confronto tra tre ceppi di lievito antagonisti selezionati contro *A. carbonarios* (A) e *B. cinerea* (B) e il fungicida commerciale

La ricerca esplora e sfrutta il potenziale dei lieviti come antagonisti per il controllo biologico di funghi patogeni (*Botrytis*, *Penicillium*, *Aspergillus* o *Cholletotrichum*), che determinano perdite della produzione totale di prodotti agricoli dal 25% (paesi industrializzati) al 50% (paesi in via di sviluppo), per promuovere pratiche più sicure e per proteggere la salute dei consumatori. In questo contesto, l'isolamento di lieviti da *Vitis vinifera* ssp. *silvestris*, dell'area euro-asiatica, e da cultivar di *V. vinifera* ssp. *vinifera* provenienti da tre diversi sistemi di allevamento (biologico, biodinamico e convenzionale) ha permesso di selezionare specie efficaci contro *Botrytis cinerea* dimostrando che i ceppi isolati dalla vite selvatica sono più efficaci (fino al 50%) rispetto ai lieviti isolati dalla vite domestica (Fig. 4) (Cordero-Bueso et al., 2017).

L'ingegneria delle produzioni viticole

Negli ultimi decenni la ricerca nel settore della viticoltura è stata molto attiva e propositiva nell'ambito delle tecnologie di agricoltura di precisione. La declinazione europea, e viticola in particolare, verso obiettivi di sostenibilità ha orientato gli sviluppi di questo ramo dell'innovazione tecnologica fin dal primo congresso europeo di Warwick del 1997 (Vieri et al., 1997).

L'obiettivo nella viticoltura di precisione non è stato prioritariamente quello di riduzione degli input, come nelle applicazioni di agricoltura di precisione per il pieno campo, ma piuttosto lo sviluppo di sistemi di aumento della qualità e soprattutto di mitigazione dei rischi, quali ad esempio il controllo delle patologie, dei parassiti e delle avversità climatiche. Questo ha portato all'impiego dispositivi di monitoraggio, procedure di previsione e macchine per i trattamenti a rateo variabile che rappresentano l'apice dell'innovazione e costituiscono un tassello per la sostenibilità dell'agricoltura di precisione.

Molti strumenti e macchine innovative sono stati sviluppati negli ultimi due decenni per migliorare la qualità globale del processo di produzione con attenzione alla riduzione degli input, alla conservazione della fertilità del suolo, al miglioramento dell'efficienza produttiva. Si sono sviluppati parimenti automatismi di ausilio alle buone prassi che hanno portato ad un intensificarsi degli studi e delle applicazioni di robotica. Queste ad oggi non si limitano più al solo ambiente di cantina, dove la gestione logistica è da tempo normalizzata, ma anche alla gestione della produzione viticola che deve conformarsi alle molte variabili ambientali.

Lo sviluppo di robot applicati alla produzione viticola è oggi intenso, con casi applicativi (Sarri et al., 2019) che hanno un TRL (Technology Readiness Level, ovvero Livello di Maturità Tecnologica) vicino alla compatibilità con l'adozione effettiva e proficua. Ne è un esempio l'esposizione internazionale FIRA, il Forum International de la Robotique Agricole, ormai alla sua seconda edizione, con numerose proposte per la robotica in viticoltura (<https://www.fira-agtech.com/en/>).

In merito alla diffusione dell'innovazione digitale nelle attività agricole è evidente il "digital divide" rispetto ad altri settori. Questo è dovuto a diversi fattori, fra cui possiamo evidenziarne due: la estrema variabilità delle situazioni di applicazione e dei fattori da considerare; un ancora diffuso disinteresse degli operatori di settore per gli strumenti di gestione analitica digitale.

Ci troviamo quindi in un passaggio molto delicato nell'innovazione digitale e di alta tecnologia, soprattutto nel settore viticolo che è caratterizzato principalmente da imprese medio piccole. È necessario, dunque, fare molta chiarezza sull'introduzione di nuove tecnologie nelle aziende al fine di evitare errori e conseguenti delusioni da parte degli operatori del settore che rischiano, se non di far fallire, sicuramente di rallentare lo sviluppo dell'innovazione.

Su innovazioni “mature” (con TRL elevato) e quindi di comprovata fruibilità, come ad esempio la guida satellitare nelle colture di pieno campo, che non richiedono particolari competenze, la adozione è molto diffusa. Laddove invece è richiesto un approccio analitico e un lavoro di aggiornamento delle competenze, aumentano le difficoltà nell’introduzione della tecnologia e vi è un generale diffidenza. A questo si aggiunge il fatto che fra le molte proposte di innovazione, la maggior parte risultano non mature e non supportate da servizi e competenze ancillari, quanto essenziali. Un ulteriore grave problema delle nuove tecnologie digitali risiede nella attuale assenza di normalizzazione e inter-connettività fra sistemi e applicazioni; ciò contribuisce a generare quella diffidenza (lo chasm) già teorizzata nella curva di Roger per la diffusione della innovazione (Fig. 5).

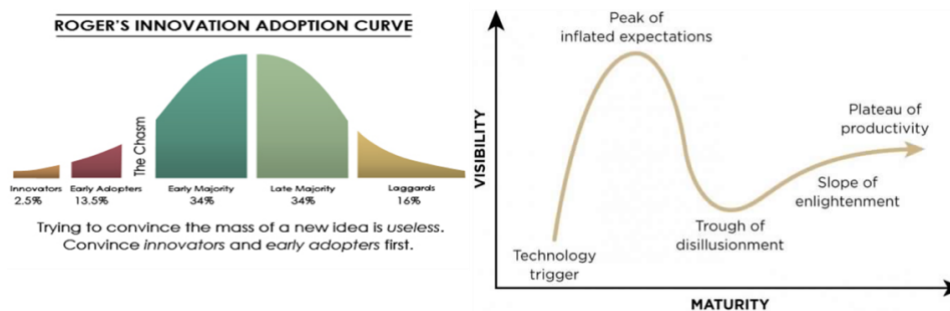


Figura 5. Il rischio del baratro, la disillusione, nella adozione della innovazione definita dalle teorie di Roger

Molte sono le innovazioni tecniche sviluppate su dispositivi ed attrezzature che migliorano la qualità e l’efficienza delle operazioni colturali, ma va d’altronde evidenziato come il nuovo approccio delle tecnologie digitali e di automazione comporti una aggiunta di complessità nel flusso gestionale con l’inserimento nel già intenso il calendario annuale delle operazioni in campo, di attività aggiuntive e cicliche di monitoraggio, analisi, decisione ed attuazione differenziata.

Il nuovo paradigma della agricoltura-viticultura di precisione segna quindi il passaggio da una gestione statica bidimensionale e uniforme data dal calendario delle operazioni colturali fondamentali, verso un sistema di gestione dinamica multidimensionale in cui il calendario delle operazioni e la variabilità della singola operazione sono dati da un sistema di analisi dinamico e multidimensionale che deve prendere in considerazione le condizioni (e le loro variazioni temporali) delle componenti strutturali, ambientali, strumentali e organizzative.

Il ricorso ampio alla digitalizzazione è riconosciuto come valore aggiunto, come si evidenzia nel caso della mitigazione dei rischi dovuti a patologie o eventi climatici, soprattutto nella filiera viticola dove centraline e DSS (Decision Support System, Sistemi a Supporto delle Decisioni) sono ormai una dotazione accreditata.

Con l’IoT (internet delle cose) questo approccio si evolve ulteriormente in quanto si va a raccogliere dati da più componenti distribuiti nel “sistema vigneto” per poi tradurli in smart contract (certificati digitali) che nel sistema della tecnologia Blockchain certificano la qualità del processo e conseguentemente del prodotto, potendo così attribuire “premierità” al valore dell’uva e del vino.

Appare quindi opportuno analizzare l’adeguatezza dell’innovazione non solamente attraverso un confronto economico di riduzione dei costi, ma di adeguamento a richieste di

valore aggiunto, come il miglioramento dell'uso di acqua, aria, suolo, sicurezza e benessere, riduzioni, dispersioni e costi. Questo è avvalorato dal recentissimo documento della Commissione Europea sul Green Deal, "List of potential agricultural practices that eco-schemes could support", che costituisce una nuova architettura verde della prossima PAC (con condizionalità e misure agro-climatico-ambientali).

L'adozione delle tecnologie proposte deve quindi avvalersi di strumenti analitici che permettano di capire il motivo per il quale vadano introdotte, quale sia il valore aggiunto, quali siano le azioni necessarie (ovvero quelle più appropriate), quali siano gli attori che devono essere coinvolti e quali le azioni da attuare nel flusso produttivo all'interno del complesso e denso calendario delle attività. Uno degli strumenti più intuitivi che possono apportare un contributo a supporto dell'introduzione dell'innovazione in agricoltura (mutuato dal mondo imprenditoriale) è il BMC (Business Model Canvas) (Fig. 6). Dalle esperienze fatte in diversi progetti, questo strumento permette di fare chiarezza su come orientarsi nello sviluppo della innovazione nella impresa viticola, al fine di dare una precisa collocazione alle tecnologie e alle procedure introdotte (Fig. 7). In merito ai processi il criterio usato è quello definito di Lean Farming. Un esempio molto semplice è la strutturazione dei locali di riparazione, manutenzione e ricovero che devono seguire un protocollo ben definito di allocazione della strumentazione elettronica che compone le macchine.

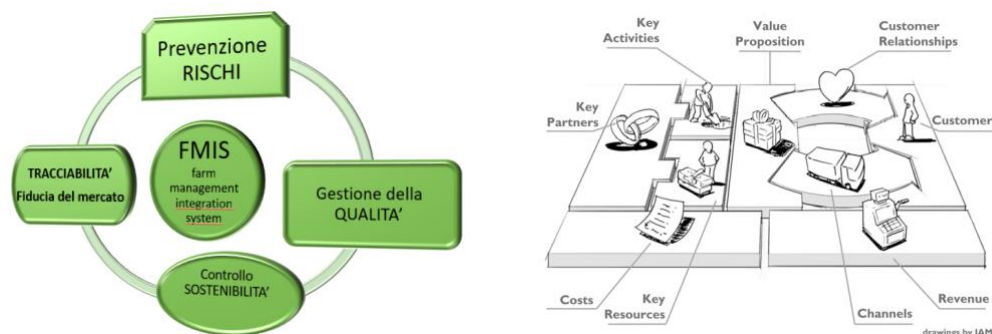


Figura 6. Le proposte di valore ricercate nella introduzione di innovazione nella viticoltura sostenibile di precisione (a sinistra). Il Business Model Canvas di analisi tecnico-economica di innovazione aziendale (a destra) (Osterwalder et al., 2010).

Approccio multidimensionale della futura agricoltura per il posizionamento proficuo delle nuove tecnologie smart nelle specifiche operazioni

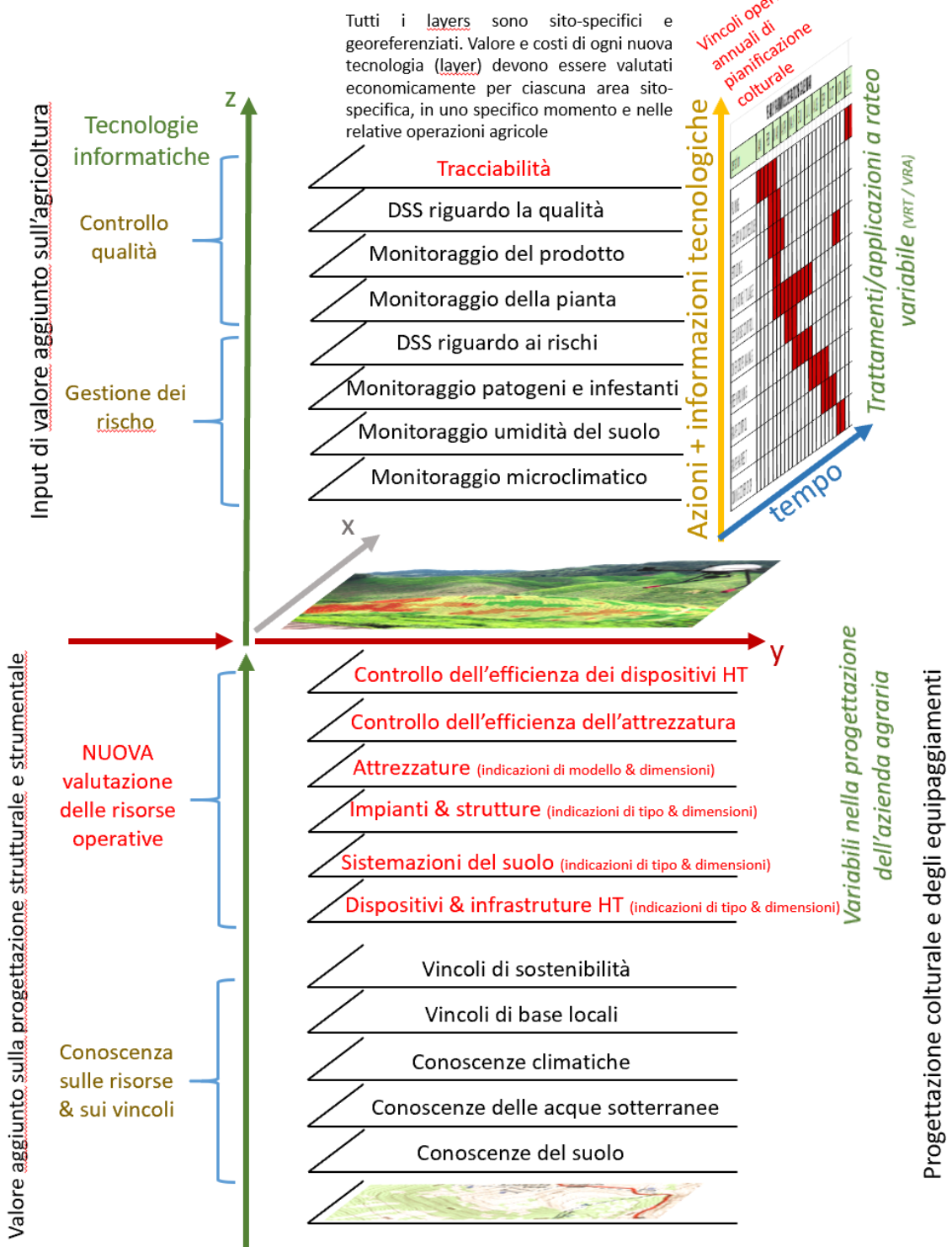


Figura 7. Il nuovo approccio multidimensionale alla Smart Viticulture che amplia lo schema planare (in alto sulla destra come terza dimensione) del calendario stagionale delle operazioni.

Un altro esempio è la necessità di formazione di risorse umane che devono essere dedicate alla gestione del flusso dati ed alla manutenzione in campo dei dispositivi (un esempio è rappresentato dalle centraline meteorologiche che sono ormai diffuse in tutte le imprese viticole). In merito agli attori che devono essere coinvolti è necessario che si crei uno sviluppo dell'innovazione che sia territoriale e che veda coinvolto tutto l'ecosistema produttivo legato all'impresa viticola: i costruttori fornitori di prodotti, i fornitori di servizi, le infrastrutture, i consulenti, il sistema educativo formativo per le risorse umane, la governance.

In merito al sistema educativo le tecnologie hanno avuto uno sviluppo così rapido che tutti i livelli educativo-formativi necessitano di un rapido aggiornamento per la creazione di figure con appropriate conoscenze e competenze rispetto all'innovazione che si deve urgentemente sviluppare e che per altro è in continua e rapida evoluzione.

Questo nuovo approccio, parte dalle esperienze di numerosi progetti di applicazione alla agricoltura e viticoltura di precisione fra cui si segnala il Progetto SPARKLE (www.sparkle-project.eu) che offre una piattaforma didattica open access sulla imprenditorialità per l'attuazione della agricoltura di precisione sostenibile. Uno studio completo è riportato in Sarri et al., 2020.

Enologia sostenibile: innovazione nei processi e nelle strutture

Nella fase di trasformazione dell'uva in vino il concetto di sostenibilità necessita di considerare aspetti ambientali diversi da quelli del vigneto, infatti il maggiore impatto deriva dal consumo energetico nelle operazioni di vinificazione, conservazione, confezionamento e spedizione, mentre l'impronta idrica è influenzata dalle operazioni di detergenza e sanificazione delle attrezzature e degli ambienti. Con la razionalizzazione delle scelte operative, l'ammodernamento delle attrezzature e la formazione del personale si possono realizzare notevoli risparmi di energia, ridurre il consumo di acqua potabile e il carico organico delle acque reflue, ma esistono aspetti etici della sostenibilità per i quali una semplice razionalizzazione non è sufficiente, ma occorrono nuove conoscenze e ricerche per orientare le scelte. Si pongono in questi termini, ad esempio, la riduzione degli additivi e conservanti e l'utilizzo di nuove metodologie di monitoraggio e gestione dei processi. Nel raggiungimento degli obiettivi di risparmio energetico un grande contributo può derivare dalla riprogettazione delle unità produttive e dalla scelta dei siti di insediamento delle medesime.

Riduzione solfiti mediante ozono e acqua elettrolizzata per trattamenti in vigna e post-raccolta

L'esigenza di soddisfare le aspettative dei consumatori di vino, sempre più attenti ai temi salutistici e della sostenibilità ambientale delle produzioni, porta la ricerca scientifica a sperimentare soluzioni operative in vigneto ed in cantina (Englesoz et al., 2019; Gabrielli et al., 2020).

In particolare, le normative sull'uso dei prodotti fitosanitari in campo diventano sempre più stringenti, così come quelle riguardanti l'utilizzo di alcuni additivi in cantina, soprattutto di quelli aventi caratteristiche di allergeni, come l'anidride solforosa.

Con la finalità anche di trovare nuove strategie per ridurre il contenuto finale di solfiti nei vini, è stata valutata la possibilità di trattare le uve in post-raccolta con agenti che potessero consentire di eliminare e/o selezionare la microflora presente sulle uve (Cravero et al., 2018; Rantsiou et al., 2020). Sulla base dei positivi risultati scientifici ottenuti utilizzando l'ozono,

sia come sanitizzante, sia come elicitore di metaboliti secondari, tale sostanza è stata scelta per la realizzazione dei vari studi scientifici.

L'ozono viene prodotto a partire dall'ossigeno dell'aria con ridotti consumi energetici e, grazie alla sua instabilità, non produce residui persistenti di nessun tipo, presentando inoltre una elevata capacità sanificante nei confronti di muffe, lieviti, batteri senza indurre forme di resistenza.

Sulle uve in post raccolta l'ozono può essere utilizzato in diverse tipologie di applicazione: trattamenti di lavaggio con acqua ozonizzata, trattamenti con ozono gassoso ad elevata concentrazione per tempi brevi, volti soprattutto alla riduzione della carica microbica presente sulle uve, ma anche ad incrementare il contenuto polifenolico dei vini (mediante aumento delle rese percentuali di estrazione di antociani e di tannini); attraverso trattamenti a concentrazioni più basse e a tempi di applicazione più lunghi si possono mantenere prive di muffe le uve da vino in fase di appassimento, sfruttandone il possibile effetto elicitore verso la produzione di sostanze sia fenoliche che soprattutto aromatiche (Paissoni et al., 2017; Río Segade et al., 2017; Río Segade et al., 2019a,b; Río Segade et al., 2020).

Nel dettaglio, l'utilizzo di ozono gassoso ha diminuito il microbiota spontaneo dell'uva, con una riduzione della carica microbica dei lieviti apiculati, responsabili talvolta di acidità volatili indesiderate. Anche i trattamenti con acqua ozonizzata hanno evidenziato un abbassamento generale della carica microbica rispetto alle uve non trattate (Cravero et al., 2016). I risultati presenti nella letteratura scientifica evidenziano quindi che i trattamenti con ozono potrebbero essere considerati uno strumento da utilizzare anche quando si vogliono operare fermentazioni spontanee in quanto possono selezionare favorevolmente la popolazione dei lieviti presenti sulle uve. L'uso di ozono in qualità di agente igienizzante e selezionatore della microflora presente prima del processo di vinificazione è quindi una pratica da considerarsi 'sostenibile' ed in grado indirettamente anche di ridurre il ricorso all'uso di solfiti.

Invece, sebbene i risultati ottenuti dai trattamenti in campo sembrano essere incoraggianti nel contenimento delle fitopatologie e quindi utili nel contenimento dell'uso di pesticidi (Gabrielli et al., 2020), i trattamenti con acqua elettrolizzata sulle uve in post raccolta, utili al contenimento dello sviluppo di muffe indesiderate durante l'appassimento, sono da ritenersi piuttosto rischiosi per la possibile formazione di cloroanisoli nei vini (Giacosa et al., 2019).

La stabilizzazione in continuo dei vini bianchi mediante un nuovo approccio sostenibile

Le proteine dei vini possono causare fenomeni di instabilità inducendo torbidità e formazione di precipitati durante la conservazione del vino, in particolare in quelli bianchi (Dufrechou et al. 2010). In questo contesto, un ruolo importante spetta alle cosiddette Pathogenesis-Related Proteins (PRP: peso molecolare 10-35 kDa), biosintetizzate dalla pianta in risposta all'attacco di patogeni (Van Sluyter et al. 2015), pertanto la loro rimozione rappresenta un punto critico al fine di garantire la stabilità nel tempo dei vini. L'approccio più comune consiste nell'impiego di coadiuvanti (es. bentonite) che aggiunti al mosto/vino rimuovono le proteine mediante un processo discontinuo che richiede tempi prolungati e genera perdite (e scarti) di lavorazione. In tale contesto l'utilizzo di nanomateriali presenta un'elevata superficie di adsorbimento e consente di modulare le prestazioni fisico-chimiche del materiale iniziale agendo su dimensioni, forma e geometria delle nanostrutture.

Il progetto "Steady Wine" prevede l'uso di due materiali ceramici a diversa granulometria (nano-polvere: MC1 e MC2 con dimensione >100 nm; micro-polvere: MC1A e MC2A con dimensione >800 nm) con proprietà intrinseche tali da ipotizzare la rimozione delle proteine instabili dei vini bianchi. La stabilità proteica dei vini bianchi è stata valutata utilizzando un

test a caldo basato sulla misura dell'intorbidimento del vino dopo riscaldamento. Inoltre, i vini sono stati analizzati per pH, densità ottica (420 nm), e contenuto in polifenoli totali (PFT) e proteine totali (PT), e i valori ottenuti sui vini trattati sono stati confrontati con il vino testimone non trattato (Parpinello et al., 2019).

Per quanto riguarda l'effetto dei materiali ceramici sulla stabilità proteica del vino, il materiale MC1 ha fornito i migliori risultati rimuovendo fino al 42,3% delle proteine instabili dal vino. L'analisi SDS-PAGE ha confermato l'elevata selettività di MC1 in grado di rimuovere le proteine con peso molecolare <35 kDa quando utilizzato a dosi > 4 g/L. La seconda fase prevedeva la sinterizzazione del materiale prescelto (MC1) su supporti inerti per realizzare strutture mesoporose di nanoparticelle da usare come prototipo per il trattamento in regime a flusso. In tale contesto è stata valutata la relazione tra superficie di materiale attivo (MC1) e rimozione delle proteine in termini di (i) variazione della Δ NTU del vino sottoposto a test a caldo in relazione all'aumento della superficie attiva di MC1, e (ii) adsorbimento di proteine (%) all'aumento della superficie attiva di MC1. L'andamento sostanzialmente asintotico mostra un valore ottimale a circa 130-140 m² MC1/L vino.

I materiali funzionali ottenuti sono stati utilizzati per trattamenti di piccoli volumi di vino in regime di flusso, mentre il proseguimento del progetto prevede la realizzazione di un prototipo di sistema 'pilota' che consenta il trattamento in flusso continuo su più larga scala con l'obiettivo di verificare il numero di cicli, durata e portata del trattamento utili per lo scaling-up dell'applicazione a livello commerciale.

L'impiego delle metodologie di analisi elettrochimica per la riduzione degli input di processo

Diverse fasi della vinificazione prevedono, per ragioni diverse, l'impiego di additivi e coadiuvanti di processo aventi diverse funzioni. Alcuni di questi, in particolare quelli ad attività antiossidante (SO₂, acido ascorbico, tannini, derivati del lievito) ed alcuni chiarificanti, consentono di migliorare la stabilità ossidativa dei vini e di conseguenza aumentarne la longevità e la resistenza agli stress del trasporto e dello stoccaggio, specie in condizioni di temperatura non ideali. Tuttavia, in particolare nel caso della SO₂ ma più in generale nel contesto della discussione sullo sviluppo di protocolli di vinificazione più 'sostenibili', si impone una generale riflessione sulla razionalizzazione dell'utilizzo di input esterni. Nello specifico, una riduzione delle dosi di impiego di differenti additivi e coadiuvanti sarebbe senza dubbio possibile in presenza di adeguate informazioni sulle caratteristiche della materia prima in corso di lavorazione, che consentirebbero all'enologo di intervenire con aggiunte 'di precisione' solo laddove effettivamente necessario.

A tale proposito appare di particolare interesse il crescente interesse della filiera vitivinicola verso metodi di analisi elettrochimica, soprattutto basati sulla voltammetria lineare o ciclica. Si tratta di metodologie di analisi da tempo note, ma che nel corso dell'ultimo decennio hanno fortemente beneficiato di innovazioni tecnologiche capaci di rendere l'analisi estremamente rapida e accessibile, grazie soprattutto all'impiego di sensori monouso e di strumenti portatili, poco costosi e controllabili anche via smartphone.

Diversi studi recenti hanno messo in evidenza l'interesse pratico di tali applicazioni per la caratterizzazione rapida di tannini di interesse enologico, di campioni di vino di differenti varietà, nonché per la valutazione della tenuta all'ossidazione di vini diversi e più in generale per la caratterizzazione della composizione fenolica dei vini stessi.

A fronte della facilità di realizzazione dell'analisi, va detto che un aspetto che tutt'ora limita la diffusione dei metodi elettrochimici in enologia riguarda la complessità legata

all'interpretazione dei dati elettrochimici. Gli spettri ottenuti da un'analisi voltammetrica (comunemente chiamati voltammogrammi) richiedono elaborazioni complesse per riuscire ad estrarre informazioni di interesse enologico. In tale ambito dovranno orientarsi gli sforzi di ricerca dei prossimi anni per poter rendere questa interessante tecnica di analisi di reale interesse per gli enologi.

Un approccio digitale per l'analisi sensoriale sostenibile in tempi di pandemia

L'analisi sensoriale è strettamente legata alla valutazione della qualità dei vini durante e dopo il processo di vinificazione ed è spesso legata all'esperienza soggettiva dell'enologo, con un approccio a volte emotivo e non risultante da uno specifico sistema di supporto alle decisioni (DSS).

Le tecniche di analisi sensoriali con panel esperti consentono invece la valutazione dei principali parametri della qualità sensoriale dei vini, ad esempio necessari per la loro assegnazione alle menzioni di qualità (DOC, DOCG). Come presupposto indispensabile, altri metodi consentono il training di panel addestrati ed il loro utilizzo nella determinazione sensoriale qualitativa e/o quantitativa.

Riassumendo, l'analisi sensoriale offre una variegata serie di strumenti per i) il decision support system in fase di produzione, ii) la valutazione da parte di panel di esperti, iii) l'indagine/ricerca di parametri di qualità in relazione ai fattori viticolo-enologici.

L'epidemia COVID-19 e le successive misure di distanziamento hanno ostacolato notevolmente le attività dei panel sensoriali, ponendo un problema di sostenibilità sanitaria. Davanti a questa situazione, il settore agroalimentare non può arrestarsi, ma deve accettare la sfida connessa alla necessità di effettuare le analisi sensoriali in sicurezza. Da qui è nata la necessità di sviluppare una webapp integrata per l'analisi sensoriale a distanza (sia per il training del panel, che per la valutazione vera e propria dei prodotti), in cui le competenze dell'enologo vengono integrate con quelle dell'informatico.

In sintesi, per essere efficiente, le caratteristiche che una webapp di questo tipo dovrebbe offrire, e che sono state pertanto implementate, si possono riassumere nei seguenti punti:

- formazione e valutazione sensoriale in modalità remota/mista, sincrona e asincrona tramite videoconferenza
- ricostruzione digitale dei flussi di lavoro legati al training ed alla valutazione sensoriale
- interazione uomo-macchina semplificata e totalmente paperless
- gestione dei dati del panelista in accordo con il GDPR-2016
- creazione di modelli per la rappresentazione, memorizzazione e scambio dei dati
- creazione di sondaggi di analisi sensoriale con randomizzazione automatica (ad esempio, quadrato latino)
- possibilità di utilizzare immagini nel sondaggio
- visualizzazione delle risposte finali ed esportazione dei dati in .csv
- possibilità di avere un ospite come partecipante senza registrazione

Sia per la formazione a distanza degli assaggiatori, sia per l'assaggio a distanza, il panel leader utilizza piattaforme per videoconferenza digitale, anche per monitorare lo stato psicologico dei partecipanti, al fine di escludere "outlier".

In una seconda fase sarebbe auspicabile prevedere l'implementazione della sentiment analysis, anche basata sullo sviluppo di un software prototipale da affiancare alla web app, per rilevare lo stato emotivo ed atteggiamenti verso il compito degli assaggiatori.

Tecnologie non distruttive nella valutazione della qualità del vino

Negli ultimi anni 15 anni l'avvento delle tecnologie non distruttive nella valutazione della qualità degli alimenti, incluso il vino, ha attratto l'interesse sia del mondo scientifico che di quello commerciale (Bellincontro et al., 2009). L'avvento delle nanotecnologie ha rivoluzionato questo settore di ricerca spostandolo progressivamente dalla macro alla micro fino alla nano sensoristica (Monge and Arribas, 2016). Questa sensoristica è stata applicata per la misura dei diversi composti enochimici importanti al fine di dare una maggior "precisione" al processo enologico. L'avvento, inoltre, del programma Industria 4.0 ha ulteriormente spinto la ricerca in tal direzione.

Il progetto "Analisi di VIno e OLio mediante un Laboratorio on-Chip (LoC) a remote connectivity (clouding) è quello di realizzare un LoC (Lab on Chip) per enologia e elaiotecnica di precisione" acronimo VIOLoC, finanziato nell'ambito del programma MUR-FISR 2019 si basa sull'applicazione di onde acustiche di superficie (SAW) usando le moderne tecnologie di connettività (clouding) per "alleggerire" il costo di analitica delle aziende, garantendo comunque una analitica fine e numericamente consistente.

Il vino rappresenta una delle eccellenze alimentari italiane nel mondo. La conoscenza del grado di maturità fenolica è fondamentale per la qualità dei vini rossi; è importante, pertanto, conoscere quando il contenuto in polifenoli ha raggiunto la massima concentrazione nella bacca e, soprattutto, conoscere quando la loro estrazione, durante il processo tecnologico di macerazione/fermentazione, è massimizzata, vuol dire ottimizzare il processo in cantina nell'ottica di un'enologia di precisione.

Il progetto che prevede il coordinamento da parte dell'Università di Pisa con la partecipazione del CNR-NANO che ha sviluppato e brevettato (Dispositivo sensorizzato per l'analisi di un fluido mediante onde acustiche", Agostini Matteo, Cecchini Marco, Patent Application No.: 102019000000418), insieme con la Scuola Normale Superiore, un biosensore elettrico con sensibilità paragonabile ai biosensori ottici, basato su onde acustiche di superficie (SAW) per l'analitica biomedicale, e l'Università della Tuscia di Viterbo. Questo biosensore è un nano-risonatore acustico estremamente compatto, e quindi realizzabile in array su singolo chip, ultra-sensibile, completamente elettrico, e fabbricabile tramite processi standard per la microelettronica. Prove preliminari hanno evidenziato la potenzialità di questo Lab on Chip (LoC) nell'analisi dei polifenoli in vino. Il sensore sarà customizzabile in funzione delle esigenze di analisi di mosti (anche da uva in maturazione) e vini nell'interesse delle aziende agricole, e potrà essere utilizzato in-situ. Il case study individuato è la misurazione dei polifenoli totali e degli antociani totali in mosto d'uva e in vino per il controllo della maturazione degli acini, della macerazione/fermentazione e dell'evoluzione del vino. Il sensore-prototipo sarà di semplice utilizzo, compatto, portatile, integrabile in apparecchiature per la vinificazione o utilizzabile in modalità standalone. Oltre alla realizzazione del dispositivo, per velocizzare il sistema e abbassare i costi analitici aziendali, una parte importante del progetto VIOLoC sarà la fornitura di un dispositivo di connettività di rete, in modo tale che le informazioni raccolte dal dispositivo, raccolte in azienda, possano essere elaborate non solo in remoto ma anche con un'archiviazione di big data in clouding. Questo permetterà di migliorare la logistica degli operatori dei laboratori di analisi, evitando continui trasferimenti tra le aziende per il prelievamento dei campioni di uve, mosti, ma anche per le aziende che potranno noleggiare il probe del sensore per l'impiego dedicato e avendo disponibili, fin da subito, attraverso uno smartphone o un tablet, tutte le informazioni sulle analisi in corso. Grazie a una banca dati di centinaia di campioni analizzati e le curve di calibrazione per i componenti da analizzare, in questo caso polifenoli e antociani, presenti in un hub (nel caso del progetto il laboratorio UNIPI,

UNITUS, spin-off da costituire, ma anche laboratorio di analisi certificato), saranno costantemente aggiornate ed "irrobustite" e quindi la performance delle misure sarà costantemente implementata.

Il contributo della microbiologia

Il controllo della trasformazione enologica, attraverso la selezione di lieviti per la fermentazione alcolica e di batteri per la trasformazione malolattica, e il monitoraggio della qualità e della sicurezza di mosti e vini, in termini di bouquet fermentativi e di prevenzione/rilevamento di microorganismi contaminanti, hanno rappresentato le attività cardine della microbiologia enologica per molti decenni.

Oggi, i cambiamenti climatici si ripercuotono sull'intera industria del vino e destano particolare preoccupazione a livello internazionale, interessando a diversi livelli tutte le regioni del mondo. Alcune aree sono interessate da precipitazioni sempre più diffuse con il rischio di dissesti idrogeologici, altre da siccità e ondate di calore senza precedenti; in generale, si registra un graduale e costante innalzamento delle temperature medie. Le regioni vitivinicole già caratterizzate da climi caldi stanno soffrendo di questo fenomeno in quanto si verifica un costante aumento della concentrazione di zucchero ed una perdita di acidità delle uve. In termini enologici questo si traduce in un aumento del tenore alcolico dei vini e ad una riduzione della freschezza dei vini legata alla loro acidità fissa. Inoltre, da sempre l'uso di anidride solforosa in vinificazione come agente antimicrobico ha permesso di guidare le fermentazioni con microorganismi selezionati, garantendo l'ottenimento di prodotti standardizzati da un punto di vista qualitativo e microbiologicamente stabili. In un'era caratterizzata da un forte interesse del consumatore verso prodotti alimentari più sani, la riduzione del contenuto di solfiti nei vini si pone come obiettivo primario e di sostenibilità nel settore enologico.

In questo panorama, l'uso dei lieviti non-*Saccharomyces* si propone come una valida strategia per una efficiente riduzione del tenore alcolico nei vini, contrastare la diminuzione di acidità e fungere da donatori di determinanti genici (proteine killer) utili al biocontrollo delle fermentazioni.

Fermentazioni miste con l'utilizzo di ceppi selezionati di *Starmerella bacillaris* e *Saccharomyces cerevisiae* su scala di laboratorio hanno condotto ad una riduzione fino a 0.6 % (v/v) di alcol aumentando il contenuto di glicerolo fino a 6 g/L, rispetto al ceppo di *S. cerevisiae* in purezza. La gestione dell'inoculo si è inoltre dimostrata un'attività tecnologica a notevole impatto; infatti, la riduzione di alcol tende ad essere maggiore con l'aumento del tempo dall'inoculo di *S. cerevisiae*, indipendentemente dal ceppo (Fig. 8) (Vasileios et al., 2016).

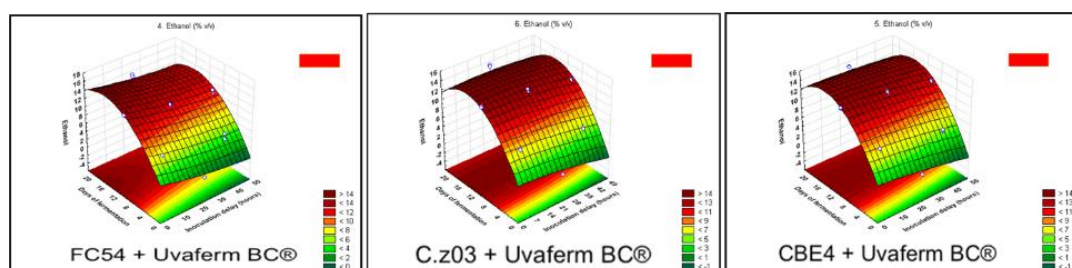


Figura 8. Riduzione del livello di alcol in seguito a fermentazioni miste con l'utilizzo di ceppi selezionati di *Starmerella bacillaris* e *Saccharomyces cerevisiae*

Nell'ultimo decennio, l'aumentata richiesta di prodotti più "naturali" ha restituito spazio a strategie di vinificazione antiche caratterizzate da fermentazioni spontanee. Sebbene queste ultime siano contraddistinte da imprevedibilità nel loro andamento dovuto al naturale avvicendamento dei microorganismi indigeni dell'uva che si sviluppano nel mosto, i vini prodotti attraverso queste fermentazioni sono spesso caratterizzati da forti note stilistiche che ne aumentano la complessità e la qualità. Inoltre, i consumatori sono sempre più attenti agli aspetti salutistici del cibo ed i cosiddetti "low-input wines" (a ridotto o assente contenuto di solfiti aggiunti) traggono un vantaggio a livello di marketing. L'impiego di tossine killer (rKpkt) prodotte per via ricombinante in *Pichia pastoris* rappresenta un'attraente prospettiva in questo contesto. Infatti, rKpkt può essere prodotta in bioreattore, parzialmente purificata e liofilizzata per ottenere un prodotto antimicrobico solubile in acqua e facilmente utilizzabile, che nel mosto contrasta la microflora spontanea. Dato il suo spettro d'azione su lieviti contaminanti, la sua attività in mosto e l'assenza di tossicità su modelli eucarioti non-bersaglio, rKpkt appare un antimicrobico promettente da impiegare in parziale sostituzione della SO₂ (Fig. 9) (Chessa et al., 2017; Vergani et al., 2017).

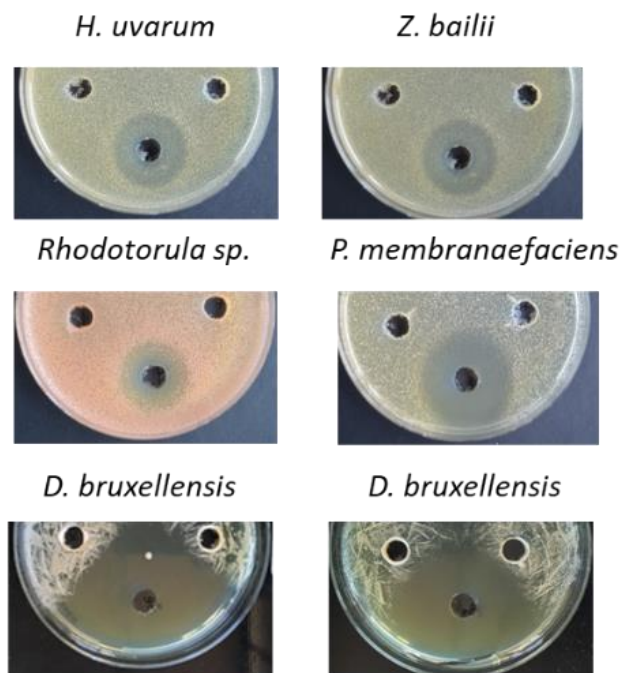


Figura 9. Effetto delle tossine killer (rKpkt) prodotte per via ricombinante in *Pichia pastoris* su lieviti contaminanti

Sostenibilità ambientale e qualità paesaggistica di strutture e infrastrutture del comparto vitivinicolo

La vitivinicoltura si contraddistingue nell'ambito delle varie filiere agroalimentari per essere un processo intrinsecamente fortemente integrato, sia temporalmente che spazialmente, una risultante di un sistema di fattori che va dalla produzione in pieno campo alla trasformazione, trasformazione che – come noto – è articolata in varie componenti e fasi e

relativi layout. L'integrazione di tutti i processi e delle relative fasi dell'intera filiera contraddistingue in modo specifico la vitivinicoltura, considerato che in molti casi l'azienda viticola ospita anche la struttura di trasformazione, e in diversi casi anche quella di commercializzazione, se non anche quella di degustazione: un comparto che proprio in virtù di queste specificità più di altri pone questioni di compatibilità ambientale e paesaggistica sia dei vigneti che del connesso sistema costruito della vinificazione.

Tra le tante sfide che riguardano il comparto delle strutture e infrastrutture connesse ai processi della trasformazione enologica, il presente contributo intende portare l'attenzione sulla crescente esigenza di approcci integrati volti alla progettazione di cantine a ridotto consumo energetico e di risorse, se non autosufficienti, anche in termini di retrofit di cantine esistenti, nonché sull'obiettivo strategico di una valorizzazione dell'intera filiera, con la progettazione paesaggistica sia del vigneto (un esempio fra tanti è quello della masseria Amastuola progettato da Fernanco Caruncho), che delle strutture e infrastrutture connesse alla trasformazione dell'uva (si cita ad esempio il progetto di Arnaldo Pomodoro per tenute Lunelli), aspetti che si innestano utilmente con strategie di marketing territoriale, di competenza di altri settori disciplinari. Indubbiamente i paesaggi del vino sono diventati nell'immaginario collettivo uno dei più iconici casi di simbiosi tra prodotto e territorio in cui esso è sia coltivato che trasformato, e un emblema della capacità e della necessità di fondere aspetti funzionali e aspetti di qualità estetica e paesaggistica. Allo stesso tempo, se da un lato esistono casi di cantine firmate da progettisti di fama diventate simboli a livello mondiale, diverse aziende vitivinicole non sfruttano a pieno questo potenziale, ciò ponendo l'attenzione sull'esigenza di promuovere un incremento diffuso della qualità paesaggistica e dell'integrazione tra le parti costruite, coltivate e naturali, date le ricadute sia a livello aziendale, soprattutto ma non solo nei casi in cui sia prevista la vendita diretta, come quando i vigneti diventano giardini e viceversa, veicolando efficacemente l'immagine aziendale, che sulla collettività.

Studi finalizzati alla valorizzazione multifunzionale dei paesaggi agrari tradizionali e del rapporto tra territorio e produzione, attraverso un approccio integrato che coinvolga l'analisi, la pianificazione e la progettazione del territorio rurale, in sinergia con i processi di produzione e trasformazione delle filiere agroalimentari di qualità, tipiche e a marchio, si dimostrano fondamentali per definire nuove generazioni di strumenti urbanistici di governo del territorio di livello comunale, in grado di porre in modo crescente l'attenzione alle eccellenze del territorio, prevedendo specifiche azioni per favorire la loro affermazione e valorizzazione, anche a fini turistico-ricettivi, creando anche network con eccellenze storiche e naturalistiche del territorio stesso. Si osserva infatti l'affermarsi e il consolidamento di nuove funzionalità che la cantina deve essere in grado di ospitare, nate da un nuovo concetto di apertura dell'azienda verso il cliente diretto e il mercato in genere, i quali recepiscono con favore attività come la degustazione o la commercializzazione del prodotto legata a eventi culturali o ricreativi studiati appositamente attorno al tema del vino e in generale mostrano apprezzamento per un'immagine aziendale qualificata e diversificata al di là delle funzioni meramente produttive. Queste nuove funzionalità non sostituiscono bensì affiancano e rafforzano quelle storicamente presenti nell'edificio collegate esclusivamente alla produzione, conservazione e vendita del prodotto.

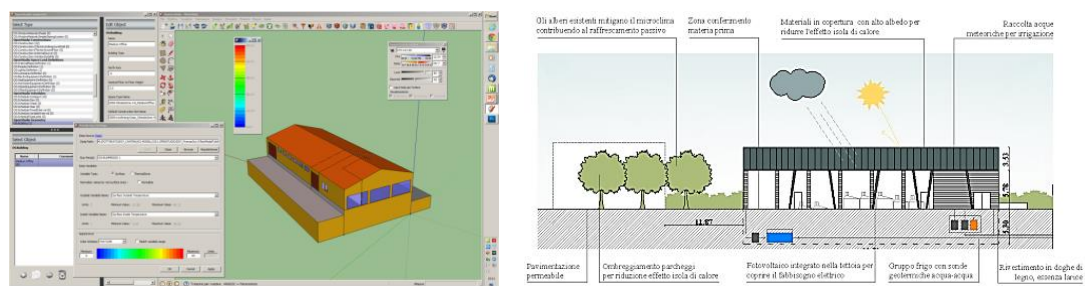


Figura 10. Progettazione integrata sostenibile delle cantine: modellazione e simulazione (a sinistra), verso cantine a fabbisogno energetico zero (a destra)

La cantina diventa quindi luogo di riferimento e introduzione al mondo del vino assumendo una nuova valenza ricreativa e turistica. Pertanto la progettazione dell'edificio, seppur finalizzata alla produzione, subisce una forte influenza da strategie di marketing dell'azienda. Tra le strategie più comuni, vi è anche quella di ricreare architetture e ambienti che possano essere collegati al territorio, all'ambiente culturale e naturale di riferimento, e più in generale a una produzione ecosostenibile (Fig. 10 e 11). In questo contesto si inserisce un interesse verso materiali naturali, l'efficienza energetica, la riduzione dei consumi, energetici ed idrici, e l'uso di fonti di energia rinnovabili. La sostenibilità ambientale, economica e sociale è infatti un obiettivo irrinunciabile per i modelli e i processi produttivi in ambito agroalimentare, inclusi quelli del comparto vitivinicolo, che devono in modo crescente confrontarsi con sfide globali quali i cambiamenti climatici e scenari competitivi caratterizzati da incertezza, anche in contesto internazionale. Scenari in cui per competere nel mercato domestico e globale occorre e in futuro sempre più occorrerà contemperare le esigenze di qualità del prodotto con quelle connesse a una tangibile e documentabile riduzione degli impatti dei processi produttivi stessi. Più si potrà rendere oggettivo e tracciabile nei confronti del consumatore quanto il vino è sostenibile ed espressione di un terroir di grande riconoscibilità e valenza, e più sarà possibile intercettare ampie fasce di consumatori, in diversi mercati mondiali.



Figura 11. Progettazione paesaggistica delle strutture e infrastrutture per la vinificazione: la cantina Leed Platinum di UC Davis (in alto), il carapace, Arnaldo Pomodoro per tenute Lunelli (in basso a sinistra), il giardino vigneto della masseria Amastuola progettato da Fernanco Caruncho (in basso a destra).

In questo contesto l'attenzione è in modo crescente rivolta verso tecniche e sistemi per il monitoraggio e il controllo microclimatico smart degli ambienti di lavorazione e trasformazione, la definizione di protocolli e modelli per la valutazione delle prestazioni e della sostenibilità delle cantine, l'adozione di sistemi passivi di efficientamento o comunque di edifici intrinsecamente ottimizzati per ridurre al minimo il consumo di energia per il controllo ambientale durante la vita utile, la valutazione sperimentale dell'efficienza di fonti di energia rinnovabile con soluzioni ottimizzate e sviluppate ad hoc per il comparto vitivinicolo (risultando spesso non efficienti ed efficaci oltre che sostenibili economicamente quelle già disponibili per i settori abitativo, terziario e industriale), che il sequestro/stoccaggio della CO₂ prodotta nel processo, arrivando alla progettazione di cantine nZEAB (nearly Zero Energy Agroindustrial Building), ovvero a bassissimo consumo energetico o autosufficienti dal punto di vista energetico (off-grid) e idrico (grazie a sistemi di accumulo e riuso), come il celebre caso della cantina certificata Leed Platinum della UC Davis in California. Durante la fase di progettazione, l'integrazione di strumenti di Building Information Modeling (BIM), Computer Fluid Dynamics (CFD) e Building Energy Simulations (BES), consente di definire una digital twin della cantina e di valutare differenti strategie progettuali (rapporti volumetrici, esposizione, materiali, ecc.) e di individuare la soluzione ottimale secondo un criterio multi obiettivo, anche impiegando metodi quali gli algoritmi genetici, considerando che i traguardi di sostenibilità devono essere raggiunti considerando sia la "embodied energy" che quella consumata durante la vita utile dell'edificio. Un altro aspetto chiave è quello della identificazione di nuovi indicatori per valutare la sostenibilità ambientale specificatamente calibrati sul comparto vitivinicolo, attraverso un approccio che consideri anche il sistema edificio nel suo intero ciclo di vita, ciò ponendo in evidenza anche il tema della flessibilità/adattabilità/recuperabilità del sistema edilizio o delle sue parti, In linea con gli obiettivi di neutralità carbonica cui sono orientati i provvedimenti legislativi e le certificazioni a vari livelli. Fondamentale è che tali studi siano riferiti sia al comparto delle cantine industriali che alle aziende vitivinicole di piccole e medie dimensioni, considerando in quest'ultimo caso la tipica compresenza di edifici storici e fabbricati più recenti (sia specificatamente costruiti sia riadattati da precedenti funzioni) e la carenza di protocolli standardizzati in relazione alla scala produttiva.

Conclusioni

Anche tra gli operatori della importante filiera vite-vino è in atto uno sforzo per contribuire a rendere maggiormente sostenibili le operazioni colturali e di trasformazione, contribuendo alla riduzione degli sprechi e al miglioramento della qualità della vita di produttori e consumatori. Il contributo della ricerca risulta evidente in ogni aspetto del processo produttivo, dalle pratiche colturali e di difesa, fino alla trasformazione. Fondamentale risultano in tutte le fasi le nuove tecnologie di monitoraggio che consentono interventi puntuali, applicando sempre più diffusamente il concetto di precisione nelle fasi di coltivazione, ma creano anche le condizioni per rendere trasparenti e comunicabili le scelte aziendali.

I progressi della ricerca sono anche resi disponibili per coloro che, anche in questo settore, sembrano rifiutare il ruolo chiave nello sviluppo delle conoscenze e nell'applicazione delle stesse. Il concetto di naturalità del vino, si può infatti avvantaggiare delle nuove conoscenze, evitando però rischi di perdite di qualità e sicurezza alimentare.

Bibliografia

- Balestrini R, Ghignone S, Quiroga G, Fiorilli V, Romano I, Gambino G. Long-Term Impact of Chemical and Alternative Fungicides Applied to Grapevine cv Nebbiolo on Berry Transcriptome. *Int J Mol Sci.* 2020 Aug 23;21(17):6067. doi: 10.3390/ijms21176067. PMID: 32842492; PMCID: PMC7504522.)
- Barbaresi, A., De Maria, F., Torreggiani, D., Benni, S., Tassinari, P. 2015 Performance assessment of thermal simulation approaches of wine storage buildings based on experimental calibration. *Energy and Buildings*, 103, pp. 307–316, 5935.
- Barreca, F., Cardinali, G.D., 2019 ITACAFood: A model to certificate the sustainability of food processing facilities. *Sustainability (Switzerland)*, 11(17): 4601
- Bellincontro A., Nicoletti L., Valentini M., Tomas A., De Santis D., Corradini D., Mencarelli F. 2009. Integration of Nondestructive Techniques with Destructive Analyses to Study Postharvest Water Stress of Winegrapes. *Am. J. Enol. Vitic.*, 60:57-63.
- Bonfante, A., Agrillo, A., Albrizio, R., Basile, A., Buonomo, R., De Mascellis, R., Gambuti, A., Giorio, P., Guida, G., Langella, G., others, 2015. Functional homogeneous zones (fHZs) in viticultural zoning procedure: an Italian case study on Aglianico vine. *SOIL* 1, 427. <https://doi.org/10.5194/soil-1-427-2015>
- Bonfante, A., Alfieri, S.M., Albrizio, R., Basile, A., De Mascellis, R., Gambuti, A., Giorio, P., Langella, G., Manna, P., Monaco, E., Moio, L., Terribile, F., 2017. Evaluation of the effects of future climate change on grape quality through a physically based model application: a case study for the Aglianico grapevine in Campania region, Italy. *Agric. Syst.* 152. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2016.12.009>
- Borin S, Progetto FARESUBIO (Fertilità, Ambiente e Reddito attraverso suolo e biodiversità) Regione Lombardia FEASR – Programma di Sviluppo Rurale 2014-2020
- Boselli E., Poggesi S. (2021). A web-app for remote sensory analysis as a tool for sustainable winemaking practices. *Oenoviti International Mini Symposium on Sustainable winemaking practices*, 9th February 2021 (on-line). *Mini_Symposia_PROGRAMME.pdf* (oenoviti.com)
- Brook, A., De Micco, V., Battipaglia, G., Erbaggio, A., Ludeno, G., Catapano, I., Bonfante, A., 2020. A smart multiple spatial and temporal resolution system to support precision agriculture from satellite images: Proof of concept on Aglianico vineyard. *Remote Sensing of Environment*, Vol. 240, April 2020, <https://doi.org/10.1016/j.rse.2020.111679>
- Carboni G, Fancello F, Zara G, et al. 2020. Production of a lyophilized ready-to-use yeast killer toxin with possible applications in the wine and food industries. *Int J Food Microbiol.* 335:108883.
- Chessa R, Landolfo S, Ciani M, et al. 2017. Biotechnological exploitation of *Tetrapispora phaffii* killer toxin: heterologous production in *Komagataella phaffii* (*Pichia pastoris*). *Appl Microbiol Biotechnol*, 101, 2931-2942.
- Conti, Leonardo, Matteo Barbari, e Massimo Monti. 2016. «Design of Sustainable Agricultural Buildings. A Case Study of a Wine Cellar in Tuscany, Italy». *Buildings* 6 (aprile): 8. <https://doi.org/10.3390/buildings6020017>.
- Corso M, Vannozi A, Maza E, Vitulo N, Meggio F, Pitacco A, Telatin A, D'Angelo M, Feltrin E, Negri AS, Prinsi B, Valle G, Ramina A, Bouzayen M, Bonghi C, Lucchin M. Comprehensive transcript profiling of two grapevine rootstock genotypes contrasting in drought susceptibility links the phenylpropanoid pathway to enhanced tolerance. *J Exp Bot.* 2015 Sep;66(19):5739-52. doi: 10.1093/jxb/erv274. Epub 2015 Jun 2. PMID: 26038306; PMCID: PMC4566973.
- Cravero F., Englezos V., Rantsiou K., Torchio F., Giacosa S., Río Segade S., Gerbi V., Rolle L., Cocolin L. (2018). Control of *Brettanomyces bruxellensis* on wine grapes by post-harvest treatments with electrolyzed water, ozonated water and gaseous ozone. *Innov. Food Sci. Emerg. Technol.*, 47, 309-316.
- Cravero F., Englezos V., Rantsiou K., Torchio F., Giacosa S., Río Segade S., Gerbi V., Rolle L., Cocolin L. (2016). Ozone treatments of post harvested wine grapes: impact on fermentative yeasts and wine chemical properties. *Food Res. Int.*, 87, 134-141.
- De Micco, V., Zalloni, E., Battipaglia, G., Erbaggio, A., Scognamiglio, P., Caputo, R., & Cirillo, C. (2018). Rootstock effect on tree-ring traits in grapevine under a climate change scenario. *IAWA Journal*. <https://doi.org/10.1163/22941932-20170199>
- Di Gaspero G, Copetti D, Coleman C, Castellarin SD, Eibach R, Kozma P, Lacombe T, Gambetta G, Zvyagin A, Cindrić P, Kovács L, Morgante M, Testolin R. Selective sweep at the Rpv3 locus during grapevine breeding for downy mildew resistance. *Theor Appl Genet.* 2012 Feb;124(2):277-86. doi: 10.1007/s00122-011-1703-8. Epub 2011 Sep 27. PMID: 21947344.
- Dufrechou M., Sauvage F.-X., Bach B., Vernhet A. (2010). Protein aggregation in white wines: influence of the temperature on aggregation kinetics and mechanisms. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 58: 10209–10218.
- EIP-AGRI Focus Group on Diseases and pests in viticulture, 2019. https://ec.europa.eu/eip/agriculture/sites/agri-eip/files/eipagri_fg_diseases_and_pests_in_viticulture_final_report_2019_en.pdf
- Englezos V., Rantsiou K., Cravero F., Torchio F., Giacosa S., Río Segade S., Gai G., Dogliani E., Gerbi V., Cocolin L., Rolle L. (2019). Minimizing the environmental impact of cleaning in winemaking industry by using ozone for Cleaning-in-Place (CIP) of wine bottling machine. *J. Clean. Prod.*, 233, 582-589.
- Foria S, Copetti D, Eisenmann B, Magris G, Vidotto M, Scalabrin S, Testolin R, Cipriani G, Wiedemann-Merdinoglu S, Bogs J, Di Gaspero G, Morgante M. Gene duplication and transposition of mobile elements drive evolution of the Rpv3 resistance locus in grapevine. *Plant J.* 2020 Feb;101(3):529-542. doi: 10.1111/tplj.14551. Epub 2019 Nov 11. PMID: 31571285.
- Gabrielli M., Englezos V., Rolle L., Río Segade S., Giacosa S., Cocolin L., Pissoni M.A., Lambri M., Rantsiou K., Maury C. (2020). Chloroanisoles occurrence in wine from grapes subjected to electrolyzed water treatments in the vineyard. *Food Res. Int.*, 137, 109704.
- Giacosa S., Gabrielli M., Torchio F., Río Segade S., Moar Grobasa A.M., Riccauda Aimonino D., Gay P., Gerbi V., Maury C., Rolle L. (2019). Relationships among electrolyzed water postharvest treatments on winegrapes and chloroanisoles occurrence in wine. *Food Res. Int.*, 120, 235-243.
- Gilardi G, Chitarra W, Moine A, Mezzalama M, Boccacci P, Pugliese M, Gullino ML, Gambino G. Biological and molecular interplay between two viruses and powdery and downy mildews in two grapevine cultivars. *Hortic Res.* 2020 Nov 1;7(1):188. doi: 10.1038/s41438-020-00413-x. PMID: 33328482; PMCID: PMC7603506.
- Gonzalez, A., Vidal, S., Ugliano, M. 2018 Untargeted voltammetric approaches for characterization of oxidation patterns in white wines. *Food Chemistry*, 269, 1–8
- Liano, E., Blanco, I., Scarascia Mugnozza, G. 2020 The Apulian Territory and the Typical Local Farmhouses: A Case of Study Through Landscape Analysis *Lecture Notes in Civil Engineering*, 67, pp. 343–350
- 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., 2017. *Note di Entomologia viticola*. Terza Edizione. Pisa University Press, 223 pp
- Lucchi A., Ricciardi R., Cosci F., Benelli G., 2018. Lepidotteri ed Emitteri dannosi alla vite in Toscana. *Campano Edizioni*, 54 pp

- Maino, E., Benni, S., Torreggiani, D., Barbaresi, A., Tassinari, P., 2016 A quantitative physiognomic analysis of contemporary farm buildings to improve awareness in rural planning. *Transactions of the ASABE*, 59(2): 509–519.
- Malnoy M, Viola R, Jung MH, Koo OJ, Kim S, Kim JS, Velasco R, Nagamangala Kanchiswamy C. DNA-Free Genetically Edited Grapevine and Apple Protoplast Using CRISPR/Cas9 Ribonucleoproteins. *Front Plant Sci*. 2016 Dec 20;7:1904. doi: 10.3389/fpls.2016.01904. PMID: 28066464; PMCID: PMC5170842.
- Manniello, C., Statuto, D., Di Pasquale, A., Giuratrabocchetti, G., Picuno, P. 2020 Planning the flows of residual biomass produced by wineries for the preservation of the rural landscape. *Sustainability (Switzerland)*, 12(3), 847
- Marasco R, Rolli E, Ettoumi B, et al. 2012. A drought resistance-promoting microbiome is selected by root system under desert farming. *PLoS One*, 7, e48479.
- Marasco R, Rolli E, Fusi M, et al. 2013. Plant growth promotion potential is equally represented in diverse grapevine root-associated bacterial communities from different biopedoclimatic environments. *Biomed Res Int*, 491091.
- Modica, G., Laudari, L., Barreca, F., Fichera, C.R., 2014 A GIS-MCDA based model for the suitability evaluation of traditional grape varieties: The case-study of 'Mantonico' grape (Calabria, Italy). *International Journal of Agricultural and Environmental Information Systems*, 5(3): 1-16
- Monge M., Moreno Arribas M.V. 2016 Applications of Nanotechnology in Wine Production and Quality and Safety Control. In *Wine Safety, Consumer Preference, and Human Health*, Springer Publ. pp.51-69
- Monica Colombo, Simona Masiero, Stefano Rosa, Elisabetta Caporali, Silvia Laura Toffolatti, Chiara Mizzotti, Luca Tadini, Fabio Rossi, Sara Pellegrino, Rita Musetti, Riccardo Velasco, Michele Perazzolli, Silvia Vezzulli & Paolo Pesaresi, 2020. NoPv1: a synthetic antimicrobial peptide aptamer targeting the causal agents of grapevine downy mildew and potato late blight. *Scientific Reports* 10:17574 (2020). Doi 10.1038/s41598-020-73027-x
- Nerva L, Sandrini M, Gambino G, Chitarra W. Double-Stranded RNAs (dsRNAs) as a Sustainable Tool against Gray Mold (*Botrytis cinerea*) in Grapevine: Effectiveness of Different Application Methods in an Open-Air Environment. *Biomolecules*. 2020 Jan 29;10(2):200. doi: 10.3390/biom10020200. PMID: 32013165; PMCID: PMC7072719.
- OIV, 2004 Resolution CST 1/2004 Development of sustainable vitiviculture. <https://www.oiv.int/public/medias/2074/cst-1-2004-en.pdf>
Osterwalder, Alexander; Pigneur, Yves; Clark, Tim (2010). *Business Model Generation: A Handbook For Visionaries, Game Changers, and Challengers*. Hoboken, NJ: John Wiley & Sons. ISBN 9780470876411. OCLC 648031756.
- Osakabe Y, Liang Z, Ren C, Nishitani C, Osakabe K, Wada M, Komori S, Malnoy M, Velasco R, Poli M, Jung MH, Koo OJ, Viola R, Nagamangala Kanchiswamy C. CRISPR-Cas9-mediated genome editing in apple and grapevine. *Nat Protoc*. 2018 Dec;13(12):2844-2863. doi: 10.1038/s41596-018-0067-9. PMID: 30390050.
- Pagliarani C, Moine A, Chitarra W, Meloni GR, Abbà S, Nerva L, Pugliese M, Gullino ML, Gambino G. The Molecular Priming of Defense Responses is Differently Regulated in Grapevine Genotypes Following Elicitor Application against Powdery Mildew. *Int J Mol Sci*. 2020 Sep 15;21(18):6776. doi: 10.3390/ijms21186776. PMID: 32942781; PMCID: PMC7555711.
- Paissoni M.A., Río Segade S., Giacosa S., Torchio F., Cravero F., Englezos V., Rantsiou K., Carboni C., Gerbi V., Teissedre P-L., Rolle L. (2017). Impact of post-harvest ozone treatments on the skin phenolic extractability of red winegrapes cv Barbera and Nebbiolo (*Vitis vinifera* L.). *Food Res. Int.*, 98, 68-78.
- Parpinello G.P., et al. (2019) Nuovo dispositivo per la stabilizzazione in flusso continuo dei vini bianchi. *L'Enologo*, 12: 85–88.
- Pessina S, Lenzi L, Perazzolli M, Campa M, Dalla Costa L, Urso S, Valè G, Salamini F, Velasco R, Malnoy M. Knockdown of MLO genes reduces susceptibility to powdery mildew in grapevine. *Hortic Res*. 2016 Apr 20;3:16016. doi: 10.1038/hortres.2016.16. PMID: 27390621; PMCID: PMC4935963.
- Peterlungher E., Sivillotti P., Falchi R., 2021 8° Convegno Nazionale di Viticoltura, Udine 5-7 luglio 2021, Riassunti dei lavori presentati, <https://conavi2020.uniud.it/abstracts>
- Poggesi S., Fracalossi S., Polák J., Longo E., Vella F., Montali M., Boselli E. (2020). A web-app for smart sensory analysis. *EuroSense2020* (<http://www.eurosense.elsevier.com/>) Poster P 1.335
- Possamai T, Migliaro D, Gardiman M, Velasco R, De Nardi B. Rpv Mediated Defense Responses in Grapevine Offspring Resistant to Plasmopara viticola. *Plants (Basel)*. 2020 Jun 22;9(6):781. doi: 10.3390/plants9060781. PMID: 32580445; PMCID: PMC7356695.
- Prinsi B, Negri AS, Failla O, Scienza A, Espen L. Root proteomic and metabolic analyses reveal specific responses to drought stress in differently tolerant grapevine rootstocks. *BMC Plant Biol*. 2018 Jun 20;18(1):126. doi: 10.1186/s12870-018-1343-0. PMID: 29925320; PMCID: PMC6011575.
- Priori, S., L'Abate, G., Fantappiè, M., Costantini, E. C. (2018). Mapping soil spatial variability at high detail by proximal sensors for vineyard planning. *EQA—Environmental quality*, 30, 9-15.
- Priori, S., Pellegrini, S., Perria, R., Puccioni, S., Storchi, P., Valboa, G., & Costantini, E. A. (2019). Scale effect of terroir under three contrasting vintages in the Chianti Classico area (Tuscany, Italy). *Geoderma*, 334, 99-112.
- Rantsiou K., Giacosa S., Pugliese M., Englezos V., Ferrocino I., Río Segade S., Monchiero M., Gribaudo I., Gambino G., Gullino M.L., Rolle L. (2020). Impact of chemical and alternative fungicides applied to grapevine cv Nebbiolo on microbial ecology and chemical-physical grape characteristics at harvest. *Front. Plant Sci.*, 11, 700.
- Río Segade S., Bautista-Ortín A.B., Paissoni M.A., Giacosa S., Gerbi V., Rolle L., Gómez-Plaza E. (2020). Changes in skin flavanol composition as response to ozone induced stress during postharvest dehydration of red winegrapes with different phenolic profile. *J. Agric. Food. Chem.*, 68, 13439-13449.
- Río Segade S., Paissoni M.A., Giacosa S., Bautista-Ortín A.B., Gómez-Plaza E., Gerbi V., Rolle L. (2019b). Winegrapes dehydration under ozone-enriched atmosphere: influence on berry skin phenols release, cell wall composition and mechanical properties. *Food Chem.*, 271, 673-684.
- Río Segade S., Vilanova M., Giacosa S., Perrone I., Chitarra W., Pollon M., Torchio F., Boccacci P., Gambino G., Gerbi V., Rolle L. (2017). Ozone improves the aromatic fingerprint of white grapes. *Sci. Rep.*, 7, 16301.
- Río Segade S., Vincenzi S., Giacosa S., Rolle L. (2019a). Changes in stilbene composition during postharvest ozone treatment of 'Moscato bianco' winegrapes. *Food Res. Int.*, 123, 251-257.
- Rocchi, L., Kadziński, M., Menconi, M.E., ...Paolotti, L., Boggia, A. 2018 Sustainability evaluation of retrofitting solutions for rural buildings through life cycle approach and multi-criteria analysis. *Energy and Buildings*, 173, pp. 281–290.
- Rogers, Everett M. (1983). *Diffusion of innovations* (3rd ed.). New York: Free Press of Glencoe. ISBN 9780029266502.
- Rolli E, Marasco R, Saderi et al. 2017. Root-associated bacteria promote grapevine growth: from the laboratory to the field. *Plant Soil*, 410, 369–382.

- Romanazzi G, Mancini V, Foglia R, Marcolini D, Kavari M, Piantatelli S, 2021. Use of chitosan and other natural compounds alone or in different strategies with copper hydroxide for control of grapevine downy mildew. *Plant Disease* 105, 3261-3268 doi 10.1094/PDIS-06-20-1268-RE
- Sargolzaei M, Maddalena G, Bitsadze N, Maghradze D, Bianco PA, Failla O, Toffolatti SL, De Lorenzis G. Rpv29, Rpv30 and Rpv31: Three Novel Genomic Loci Associated With Resistance to *Plasmopara viticola* in *Vitis vinifera*. *Front Plant Sci.* 2020 Oct 8;11:562432. doi: 10.3389/fpls.2020.562432. PMID: 33163011; PMCID: PMC7583455.
- Sarri D.; Lombardo S.; Pagliai A.; Perna C.; Lisci R.; De Pascale V.; Rimediotti M.; Cencini G.; Vieri M. (2020). Smart farming introduction in wine farms: A systematic review and a new proposal. *Sustainability*, 12, 7191-7217, 2020. doi:10.3390/su12177191
- Sarri, D., Lombardo S., Lisci R., De Pascale V., Vieri M. (2019). AgroBot Smash a robotic platform for the sustainable precision agriculture. in press on *Innovative biosystems engineering for sustainable agriculture, forestry and food production. International Mid-Term Conference 2019 AIIA*" by Springer International Publishing AG
- Tassinari, Patrizia, Daniele Torreggiani, Stefano Benni, e Enrica Dall'Ara. 2013. «Landscape Quality in Farmyard Design: An Approach for Italian Wine Farms». *Landscape Research* 38 (dicembre). <https://doi.org/10.1080/01426397.2012.746653>.
- Toffolatti SL, De Lorenzis G, Brilli M, Moser M, Shariati V, Tavakol E, Maddalena G, Passera A, Casati P, Pindo M, Cestaro A, Maghradze D, Failla O, Bianco PA, Quaglino F. Novel Aspects on The Interaction Between Grapevine and *Plasmopara viticola*: Dual-RNA-Seq Analysis Highlights Gene Expression Dynamics in The Pathogen and The Plant During The Battle For Infection. *Genes (Basel)*. 2020 Feb 28;11(3):261. doi: 10.3390/genes11030261. PMID: 32121150; PMCID: PMC7140796.
- Ugliano, M., Slaghenaufi, D., Picariello, L., Olivieri, G. 2020. Oxygen and SO₂ Consumption of Different Enological Tannins in Relationship to Their Chemical and Electrochemical Characteristics. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 68, 13418–13425.
- Van Sluyter S.C., McRae J.M., Falconer R.J., Smith P.A., Bacic A., Waters E.J., Marangon M. (2015). Wine protein haze: mechanisms of formation and advances in prevention. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 63: 4020–4030.
- Vandelle E, Ariani P, Regaiolo A, Danzi D, Lovato A, Zadra C, Vitulo N, Gambino G, Polverari A. Int J Mol Sci. The Grapevine E3 Ubiquitin Ligase VriATL156 Confers Resistance against the Downy Mildew Pathogen *Plasmopara viticola*. 2021- Jan 19;22(2):940. doi: 10.3390/ijms22020940.
- Vannozzi A, Donnini S, Vigani G, Corso M, Valle G, Vitulo N, Bonghi C, Zocchi G, Lucchin M. Transcriptional Characterization of a Widely-Used Grapevine Rootstock Genotype under Different Iron-Limited Conditions. *Front Plant Sci.* 2017 Jan 5;7:1994. doi: 10.3389/fpls.2016.01994. PMID: 28105035; PMCID: PMC5214570.
- Vasileios E, Rantsiou K, Cravero F, et al. 2016. *Starmerella bacillaris* and *Saccharomyces cerevisiae* mixed fermentations to reduce ethanol in wine. *Appl Microbiol Biotechnol*, 100, 5515-5526.
- Vergani L, Mapelli F, Zanardini E, et al. 2017. Phyto-rhizoremediation of polychlorinated biphenyl contaminated soils: An outlook on plant-microbe beneficial interactions. *Sci Total Environ*, 575, 1395-1406.
- Vieri M., Spugnoli P. (1997). A high pressure injection system for precision application of pesticide. BIOS Scientific Publishers Limited, Oxford 1997.
- Wirth, J., Slaghenaufi, D., Vidal, S., Ugliano, M. 2021. Electrochemical approaches for rapid characterization of oxidizable compounds in different oak alternatives. *Beverages*, 7 1–8, 1.

Intensificazione sostenibile nella filiera del pomodoro da industria

Dalla Rosa M.¹, Gatta G.², Giuliani M.M.², Gagliardi A.², Falsone G.³, Marzadori C.³, De Luca F.⁴, Troccoli A.⁴, Fanelli E.⁴, Cardì T.⁵, Monarca D.⁶, Moschetti R.⁶, Mazzoni E.⁷, Severini C.²

¹Dipartimento di Scienze e Tecnologie Agro-Alimentari, Alma Mater Studiorum Università di Bologna, P.za Goidanich, 60 -47521 Cesena

²Dipartimento di Scienze Agrarie, Alimenti, Risorse Naturali e Ingegneria (DAFNE), via Napoli 25, 71121 Foggia

³Dipartimento di Scienze e Tecnologie Agro-Alimentari, viale Fanin 44, Bologna.

⁴Istituto per la Protezione Sostenibile delle Piante, CNR, via Amendola 122/D, Bari

⁵Centro di ricerca Orticoltura e Florovivaismo del CREA

⁶Dipartimento per la innovazione nei sistemi biologici, agroalimentari e forestali, Università degli Studi della Tuscia, Via San Camillo de Lellis - 01100 Viterbo

⁷Dipartimento di Scienze delle Produzioni Vegetali Sostenibili - DI.PRO.VE.S. Università Cattolica del Sacro Cuore, Piacenza

Riassunto

L'Italia svolge un ruolo importante nella produzione del pomodoro da industria e dei suoi trasformati attraverso due importanti distretti nazionali, quello del Nord e quello del Centro-Sud, che complessivamente producono 5,1 milioni di tonnellate annue. La produzione nazionale evidenzia una differente specializzazione: a Nord si producono prevalentemente concentrati (39,3%), polpe (35%), passate (27,3%), sughi pronti (1,7%), nel Centro-Sud, invece, si producono prevalentemente pelati (44%) e passate (48%). A causa della complessità della filiera, gli autori hanno sottolineato solo le principali problematiche nella filiera italiana del pomodoro da industria che possono effettivamente rappresentare un impedimento nel suo processo di "intensificazione sostenibile". Sono riportate, infatti, alcune problematiche legate ai processi di produzione primaria (es. gestione della risorsa irrigua, gestione della fertilità del suolo, gestione delle tecniche di difesa) e alcune problematiche legate ai processi di trasformazione del prodotto (es. ruolo dell'innovazione nei processi di trasformazione e di valorizzazione dei sottoprodotti).

Abstract

Italy plays an important role in the production and processing of tomato (5.1 million tons/year) by two important national districts located in North and Central-Southern Italy. The national production of processing tomato shows a different specialization: North district mainly produces concentrates (39.3%), pulps (35%), puree (27.3%), ready-made sauces (1.7%), while Central-Southern district mainly produces peeled (44%) and puree tomatoes (48%). Due to the complexity of the supply chain, the authors have highlighted only the main topics which can be obstacle to the process of "sustainable intensification" of the Italian processing tomato supply chain. In fact, some topics related to the tomato crop cultivation (e.g. management of irrigation resources, management of soil fertility, management of defense techniques) and related to product transformation processes (e.g. role of technological innovation in industrial manufacturing processes, enhancement of by-products) are reported.

Keywords: *sustainable intensification; tomato supply chain; tomato disease; water use efficiency; processing efficiency; mild technologies; by-product valorization*

Introduzione

L'Italia svolge un ruolo importante nella filiera del pomodoro da industria e dei suoi trasformati con due importanti distretti nazionali, quello del Nord e quello del Centro-Sud che complessivamente producono 5,1 milioni di tonnellate annue (77.910 ha) (ANICAV 2020). La produzione nazionale risulta equamente suddivisa tra i due distretti, sebbene vada evidenziata una differente specializzazione: a Nord si producono prevalentemente concentrati (39,3%), polpe (35%), passate (27,3%), sughi pronti (1,7%), nel Centro-Sud, invece, si producono prevalentemente pelati (44%), passate (48%) e concentrati (8%) (<https://anicav.it>). Nel 2021, con oltre 6 milioni di tonnellate di prodotto trasformato, l'Italia rappresenta il secondo produttore al mondo.

Negli ultimi decenni la filiera del pomodoro e trasformati ha visto lo sviluppo di prodotti relativamente innovatori del settore, passando di fatto da prodotti considerati come commodity a tradizionali evoluti in base a una maggiore modularità della base per preparazioni gastronomiche, fino a prodotti veramente di pronto uso come la variegata gamma delle salse pronte. Questo ha portato anche un notevole incremento del valore aggiunto dei trasformati, evidenziato dal confronto tra percentuali dei diversi prodotti in valore e in quantità sulla totalità del comparto. La classica passata di pomodoro, infatti, rappresenta il 54 % della quantità totale prodotta con un 36% in valore, mentre i sughi pronti UHT si attestano al 10 % in quantità, ma quasi al 30% in valore.

La complessità della filiera ha indotto gli autori a evidenziare solo le principali problematiche riscontrabili nella filiera italiana del pomodoro da industria che possono concretamente rappresentare un impedimento nel suo processo di “intensificazione sostenibile” (Atti convegno AISSA 2019). In particolare, nei successivi paragrafi sono riportate alcune problematiche legate ai processi di produzione primaria (gestione della risorsa irrigua, gestione della fertilità del suolo, etc.) e alcune problematiche legate ai processi di trasformazione del prodotto.

Sostenibilità nella produzione primaria: analisi delle principali problematiche

Gestione della fertilità del suolo: alcuni aspetti da migliorare

La gestione della fertilità del suolo e la protezione delle sue prerogative funzionali sono aspetti fondamentali per la definizione di soluzioni tecniche più sostenibili per la filiera del pomodoro, tenendo anche conto dell'ambiente pedoclimatico.

1. Aumento dell'efficienza d'uso dei fertilizzanti mediante l'impiego di concimi organici e/o organo-minerali

Il fosforo (P) è un elemento nutritivo caratterizzato da una bassa efficienza d'uso, bassa NUE. Allo stesso tempo è ben nota la risposta della coltura del pomodoro alle concimazioni fosfatiche. Questi due aspetti si concretizzano con una distribuzione di unità fertilizzanti fosfatiche che superano di molto l'entità degli asporti. Molto del P distribuito rimane nel suolo, in forme non assimilabili (non-biodisponibili), esposto, inoltre, al pericolo della dispersione quando si verificano specifiche condizioni ambientali. Ad esempio, in area mediterranea le maggiori perdite fosfatiche sono legate alle particelle di suolo soggette ad erosione.

Una possibile soluzione tecnica potrebbe essere quella di incentivare l'impiego di specialità fertilizzanti capaci di proteggere il fosfato dai processi di precipitazione nel suolo sotto forme non assimilabili, mantenendolo, per tempi sufficientemente lunghi e compatibili con la fenologia della coltura, in forma assimilabile dagli apparati radicali. Questo effetto lo si

ottiene quando il fosfato è contenuto in forma organica o viene fatto reagire con matrici organiche per formare concimi organo-minerali. L'efficacia dei concimi organici fosfatici (P) e azoto-fosfatici (NP) o dei concimi fosfatici contenenti matrici umiche o umo-simili è comprovata da numerose sperimentazioni che dimostrano come questi concimi allunghino i tempi di permanenza nel suolo di forme fosfatiche assimilabili.

Il P apportato con i concimi organici diviene disponibile per l'assorbimento radicale mano a mano che la matrice organica viene mineralizzata nel suolo, processo che di norma è correlato all'andamento stagionale e che, in qualche modo, segue le esigenze nutrizionali delle piante. L'efficienza nutrizionale degli elementi così apportati è in genere superiore a quella dei concimi minerali. I principali concimi organici fosfatici o più precisamente P o NP sono: guano, farina di pesce, pollina essicata, farina d'ossa, biomasse da miceli.

I concimi organo-minerali maggiormente efficienti sono quelli ottenuti per reazione tra uno o più concimi organici, o matrici organiche, con uno o più concimi minerali. In particolare, in base alla norma nazionale sui fertilizzanti (D.Lgs. 75/2010) possiamo avere concimi organo-minerali azoto-fosfatici (NP) e azoto-fosfatici-potassici (NPK). I consumi relativi a questa categoria di concimi è in fase di espansione e al momento in Italia, che ne è la principale produttrice, rappresenta il 9% del mercato nazionale garantendo l'11% della P_2O_5 somministrata in agricoltura.

Il P di origine minerale presente nei concimi organo-minerali ottenuti per reazione è protetto nei confronti delle reazioni di insolubilizzazione dalle interazioni che si stabiliscono tra l'elemento minerale e la matrice organica. La concentrazione di P nei concimi organo-minerali fosfatici è più elevato di quello osservabile nei concimi organici. Anche in questo caso l'efficienza nutrizionale dell'elemento è molto superiore a quella dei concimi minerali che, nel migliore dei casi, si attesta attorno a solo il 30%.

L'impatto della soluzione tecnica proposta sugli indicatori di intensificazione sostenibile:

- a) fertilità biologica del suolo: l'uso di questi materiali migliora le proprietà biologico-funzionali dei suoli. Dati di letteratura dimostrano come l'impiego di fosfoammati, rispetto all'impiego di superfosfati, stimolino le attività enzimatiche del suolo legate ai cicli dei principali elementi della fertilità ed abbiano un impatto positivo su aspetti quantitativi della biomassa microbica del suolo (Giovannini et al., 2013);
- b) aumentano l'efficienza dell'apporto dei nutrienti proteggendoli da processi di insolubilizzazione.
- c) riduzione di lisciviazione e runoff dei nutrienti: la riduzione delle quantità di elemento apportate può contribuire a ridurre i pericoli legati alla sua dispersione ambientale.

In Figura 1 sono osservabili le variazioni nel contenuto di un suolo in P assimilabile (P-Olsen) quando trattato con tre diversi prodotti (Giovannini et al., 2013): SP-superfosfato commerciale, CSP1-superfosfato complessato con sostanze umiche estratte da torba, CSP2-superfosfato complessato con sostanze umiche estratte da torba a dose doppia. L'esperimento, condotto in condizioni estreme per la precipitazione del fosfato, mostra chiaramente come le sostanze umiche siano in grado di proteggere il fosfato dai fenomeni di retrogradazione. Dopo 28 giorni il contenuto in P-Olsen nel trattamento CSP2 è sostanzialmente il doppio rispetto al trattamento con superfosfato commerciale SP. Le lettere in legenda si riferiscono alla significatività statistica delle medie al 28esimo giorno di prova.

Aumentare l'efficienza d'uso nutrizionale del fosfato (NUE), mediante l'impiego di concimi organici e/o organo-minerali potrebbe contribuire ad aumentare la sostenibilità delle produzioni

di pomodoro attraverso una riduzione dell'apporto di P in termini di unità fertilizzanti distribuite, portandolo più vicino all'entità dei reali asporti, a parità di produzione. Risparmiare P, di conseguenza, significa ridurre i costi, ridurre lo spreco di risorse, ridurre il pericolo di disperdere in comparti ambientali sensibili, come le acque, il nutriente apportato in eccesso.- Va inoltre rilevato che la qualità delle fosforiti estratte da miniera, che rappresentano la materia prima per la produzione di concimi fosfatici minerali, sta progressivamente peggiorando per il crescente contenuto in sostanze indesiderate quali il cadmio (si ricorda anche che nel Reg. UE 2019/1009 è stato posto un limite in Cd di 60 mg/kg di P₂O₅, limite che andrà progressivamente riducendosi nei prossimi anni).

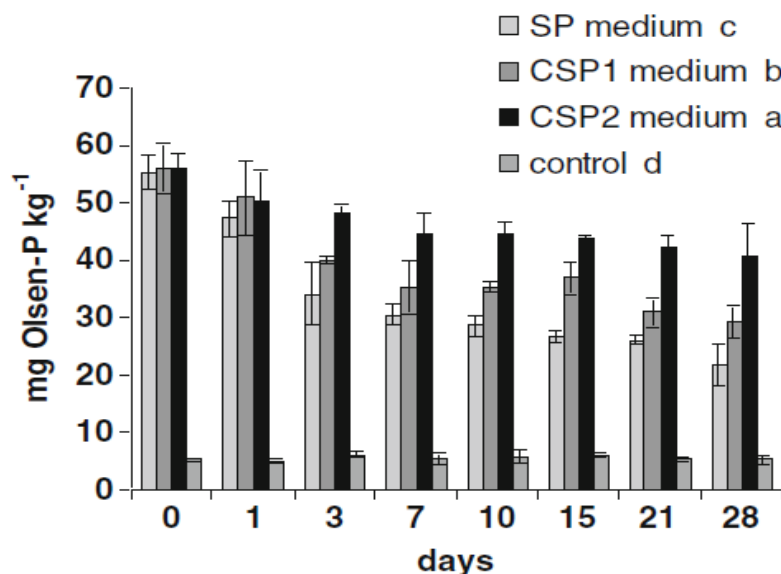


Figura 1. Olsen-P (milligrams per kilogram) measured in soil treated with CSP1 medium, CSP2 medium, and SPmedium. CSP1 medium and CSP2 medium correspond to CSP2 added to the soil at the medium P dose as well as SP medium to SP added to the soil at the medium P dose (Giovannini et al., 2013)

L'utilizzo di P da fonti alternative provenienti da processi di recupero da materiali di scarto, ad esempio, da reflui zootecnici o da acque reflue urbane, potrebbe rappresentare un'ulteriore possibilità per migliorare la sostenibilità delle pratiche di fertilizzazione che nel contempo consentano di mantenere elevate le rese produttive. Quest'ultimo aspetto rappresenta un'opzione non negoziabile riguardo la sostenibilità economica della filiera.

2. Uso delle bio-plastiche nella coltivazione del pomodoro: effetti sulla produzione e sulla fertilità del suolo

Il pomodoro è una coltura che potrebbe trarre numerosi vantaggi dall'applicazione di teli plastici pacciamanti. Tuttavia, le plastiche di origine agricola rappresentano ad oggi una percentuale non trascurabile del totale dei rifiuti di plastica e producono criticità sia sul fronte delle produzioni, che della sostenibilità ambientale delle medesime. I teli per la pacciamatura sono difficili da riciclare; i rifiuti plastici che si accumulano nel suolo hanno un impatto negativo sulla crescita, sullo sviluppo delle colture e sulla funzionalità del suolo. I teli di plastica rappresentano un forte ostacolo ad alcune pratiche, tra le quali quella della raccolta meccanica del pomodoro.

La persistenza dei residui plastici nel suolo, quindi la loro non biodegradabilità, rappresenta il principale punto critico da affrontare. L'uso di teli bio-degradabili potrebbe

quindi rappresentare una soluzione utile al miglioramento della sostenibilità della filiera del pomodoro. Ad oggi, il mercato europeo dei teli per la pacciamatura è di circa 80.000 t/anno, quelle non biodegradabili rappresentano il 95% del totale. Viene stimato che circa il 30% di questi si accumulano nei suoli, esponendosi peraltro anche al rischio di un'ulteriore dispersione ambientale mediante vari meccanismi di trasporto (European Commission, A European Strategy for Plastics in a Circular Economy, 2018).

Ad oggi, la ricerca nel campo delle Scienze Agrarie si occupa in modo rilevante degli effetti dell'accumulo di plastiche non biodegradabili nel suolo. Sono molti gli autori che mettono in guardia relativamente agli effetti negativi sulla funzionalità del suolo legati all'accumulo di questi materiali (Moore-Kucera et al., 2014; Steinmetz et al., 2016). Conseguentemente anche l'impiego di teli bio-degradabili è oggetto di grande attenzione. Al momento, assistiamo ad un flusso di risultati molto ampio derivante da approcci sperimentali tra loro molto diversi. Tuttavia alcune indicazioni cominciano ad emergere. Una delle principali preoccupazioni è legata all'effetto di somministrazioni ripetute al suolo di fonti di carbonio da bio-plastica sulle proprietà bio-funzionali dei suoli. Recenti esperimenti dimostrano come in realtà queste fonti carboniose non abbiano impattato in modo negativo né sullo sviluppo della biomassa microbica del suolo, né su alcune attività enzimatiche chiave per i cicli del C e del P (Comunicazione personale Marzadori et al., 2021). Una riflessione andrebbe fatta sul rapporto C/N del suolo che in presenza di un materiale molto ricco di C e privo di N potrebbe modificarsi influenzando le esigenze nutrizionali azotate di piante e popolazioni microbiche. Va comunque ricordato che questo effetto è ben noto in campo chimico-agrario e agronomico in quanto si presenta tutte le volte che vengono aggiunti al suolo residui organici anche di origine naturale, ad esempio paglie, o compost con elevato C/N. La questione dovrà di conseguenza essere gestita attraverso un opportuno piano di fertilizzazione azotata che tenga conto di questo aspetto. L'uso di teli bio-degradabili in ogni caso presenterebbe numerosi vantaggi rispetto ai teli tradizionali.

L'impatto della soluzione tecnica proposta sugli indicatori di intensificazione sostenibile:

- a) sostenibilità del riciclo delle plastiche e del processo produttivo: le plastiche biodegradabili non necessitano di essere rimosse dal suolo a fine ciclo, presentano tempi di persistenza nei suoli ridotti pur nel rispetto delle prerogative funzionali (biodegradabilità), non sono di ostacolo alla raccolta meccanica del prodotto (Brodhagen et al., 2015; Kyrikou et al., 2007; Lucas et al., 2008);
- b) ridotto consumo di energia fossile per la produzione: sono prodotti che derivano in larga misura da risorse rinnovabili, tanto che ne è consentito l'impiego in agricoltura biologica;
- c) fertilità biologica del suolo: sono ad oggi disponibili indicatori utili per valutare l'impatto esercitato dalle diverse pratiche agronomiche sulla funzionalità biologica del suolo (Giacometti, et al., 2013; 2014). Recentemente questi indicatori sono stati applicati anche a studi relativi all'uso delle bioplastiche e ricerche recenti, ed in via di pubblicazione, mostrano come la fonte di carbonio da bio-plastica non pregiudichi la funzionalità biologica del suolo (Comunicazione personale Marzadori et al., 2021).

Accanto a questi vantaggi si sommano quelli tradizionalmente legati alla pratica della pacciamatura: a) migliore sviluppo della pianta e della produzione, b) controllo delle malerbe, c) risparmio idrico, d) anticipo dell'epoca di trapianto, etc.

3. Tipologie di suolo e conservazione della fertilità biologica

Nell'intensificazione sostenibile della filiera, la conservazione della salute del suolo (soil health) riveste un ruolo chiave. Essa, infatti, è definita come la capacità continua del suolo di svolgere funzioni in quanto ecosistema vivente che sostiene le piante, gli animali e l'umanità (Lorenz e Lal, 2016).

Un semplice parametro comunemente utilizzato per valutare la salute del suolo è il contenuto di carbonio organico. Questo parametro è stato anche inserito tra gli "indicatori di sostenibilità ecologica" nel documento AISSA (Tagliavini et al., 2019). In uno studio di Vittori Antisari et al., (2021), tre ambiti del territorio emiliano-romagnolo, utilizzati per la produzione industriale di pomodoro e caratterizzati da suoli di diversa tipologia (Vertisol, Histosol, Cambisol) sono stati messi a confronto. Gli autori hanno osservato che, a parità di gestione, il contenuto di carbonio organico varia tra i suoli (Fig. 2A).

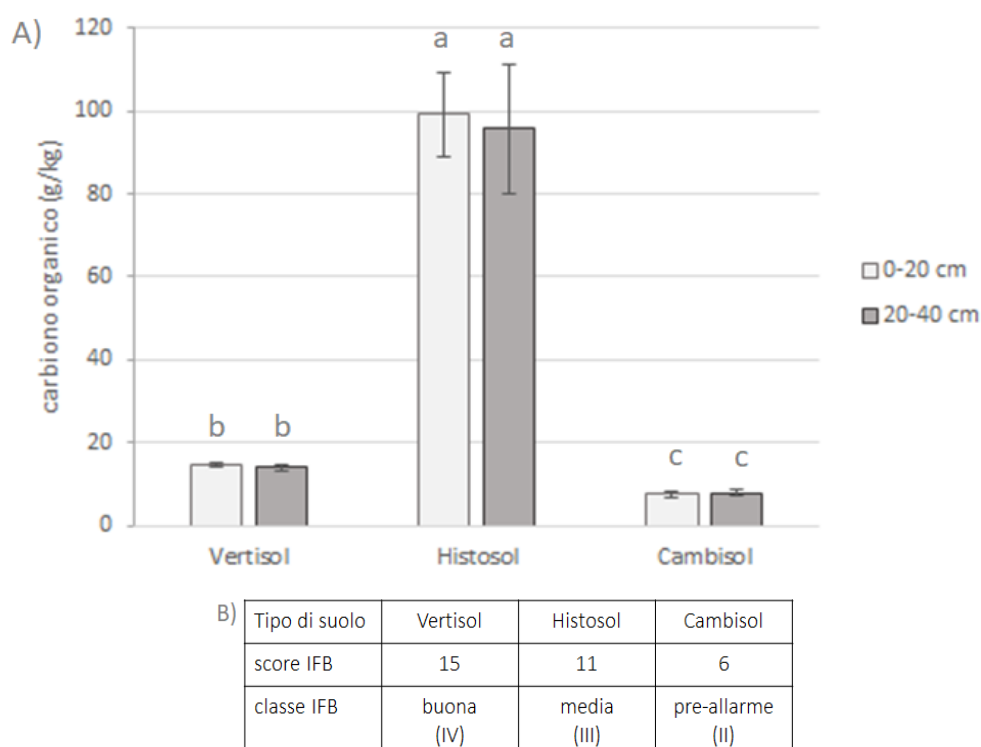


Figura 2. Contenuto di carbonio organico (A), score e classe dell'indice di fertilità biologica (IFB) (B) in tre tipi di suoli (Vittori Antisari et al., 2021)

Tale variazione è comunque in relazione alla tipologia; essendo in particolare gli Histosol delle zone del Mezzano bonificate oltre 50 anni fa risultano, come atteso, i più ricchi di C organico. Il parametro relativo al contenuto di C organico, fortemente influenzato dalle condizioni di formazione del suolo, non sembra essere sufficientemente sensibile per la valutazione dell'impatto della gestione nelle diverse tipologie di suolo. Esso deve essere criticamente valutato alla luce di altri indicatori. L'indice di fertilità biologica (IFB) (Benedetti e Mocali, 2008; Vittori Antisari et al., 2021) è un altro indicatore suggerito da AISSA (2019), e riconosciuto a livello internazionale (Francaviglia et al., 2017; Renzi et al., 2017). L'IFB tiene conto, oltre che del contenuto di C organico, anche della biomassa microbica, una delle frazioni vitali nel suolo (Bender et al., 2016; Dilly et al., 2018), e dell'attività di respirazione da essa compiuta. Nei suoli investigati da Vittori Antisari et al., (2021), come si può notare (Fig. 2B), i valori di IFB non ricalcano l'andamento del C organico, evidenziando diverse classi di fertilità

biologica, da buona per il Vertisol, a media per l'Histosol a condizioni di pre-allarme per il Cambisol, dove chiaramente si evidenzia la criticità legata all'attuale gestione. Anche nell'ambito degli Histosol si sottolinea che, sebbene questi suoli presentano elevate quantità di C organico, l'attuale gestione può comprometterne la vitalità, e che occorre vagliarne la sostenibilità nel medio e lungo termine.

Una miglior gestione legata alla conoscenza dei suoli permette di guidare le scelte nell'ottica dell'intensificazione sostenibile che non deve essere monitorata attraverso un unico parametro, ma mediante un insieme di indicatori che permetta di valutare la complessità dei sistemi, anche tenendo conto dei contesti ambientali in cui i suoli evolvono.

Gestione dell'irrigazione: alcuni aspetti da migliorare

L'irrigazione è un'importante pratica agronomica che, se eseguita razionalmente, permette di incrementare le produzioni, di stabilizzare le rese tra le annate e di introdurre colture pregiate più redditizie in un determinato territorio. Tuttavia, negli ultimi anni, a livello mondiale, si sta assistendo ad una graduale riduzione, sia di tipo quantitativo che di tipo qualitativo, delle riserve idriche destinate ad usi irrigui (FAO, 2000). Fra le innumerevoli cause è possibile annoverare i mutamenti climatici in atto, gli incrementi della richiesta per usi civili e industriali (Fig. 3).

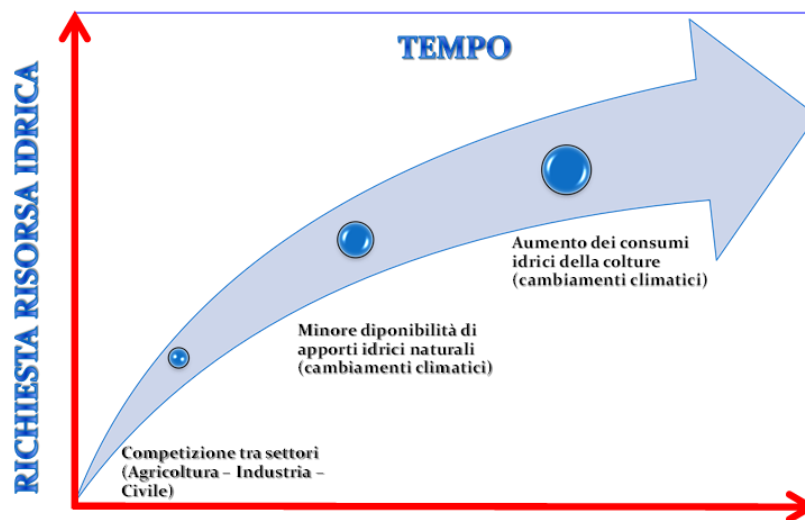


Figura 3. Tendenza nel tempo della richiesta di risorsa idrica

Date queste premesse, si avverte l'esigenza di proporre un insieme di interventi allo scopo di ottimizzare l'impiego dell'acqua irrigua nelle diverse filiere produttive ed aumentare la sua efficienza d'uso mediante: (i) l'applicazione di una corretta gestione della programmazione irrigua, sia rispetto al volume di adacquamento, che al momento di intervento irriguo; (ii) l'introduzione di tecniche del 'deficit idrico controllato' (es. *deficit irrigation*, *regulated deficit irrigation* e *partial rootzone drying*).

Il pomodoro da industria (*Solanum lycopersicum* L.) è una coltura che presenta fabbisogni idrici variabili tra 400 ed 800 mm (in funzione di condizioni climatiche, varietà, durata del ciclo, etc.), quasi totalmente soddisfatti attraverso il ricorso all'irrigazione negli areali produttivi Mediterranei.

In alcuni contesti agronomici, al fine di massimizzare il più possibile le rese produttive, è applicata una pratica irrigua non propriamente razionale, consistente nell'uso di volumi d'adacquamento notevolmente più alti rispetto a quelli effettivamente richiesti dalle colture. In questo contesto, sono numerosi ormai gli strumenti digitali (es. Decision Support System, DSS) che possono essere impiegati per supportare 'in tempo reale' il processo decisionale (Armentano, 2018; Giuliani et al., 2019; Buono et al., 2021).

A livello aziendale, la principale necessità è di supportare una programmazione irrigua del pomodoro basata sulle effettive esigenze idriche della coltura, aumentando l'efficienza d'uso dell'acqua. A questo riguardo alcuni studi condotti in Puglia hanno confrontato tre diverse metodi di programmazione irrigua su pomodoro da industria (Fig. 4):

- Metodo A – tradizionalmente utilizzato in azienda, basato sulla “consuetudine” e sull'esperienza dell'imprenditore;
- Metodo B – “evapotraspirometrico” utilizzato dal sistema “IrriWeb” del Consorzio per la Bonifica della Capitanata. Tale metodo è basato sul calcolo della evapotraspirazione potenziale (ET_o) e la successiva definizione dell'evaporazione massima (ET_c) mediante i coefficienti colturali (K_c);
- Metodo C – che prevedeva l'utilizzo del sistema di distribuzione dell'acqua irrigua basato sul monitoraggio del contenuto idrico del terreno.

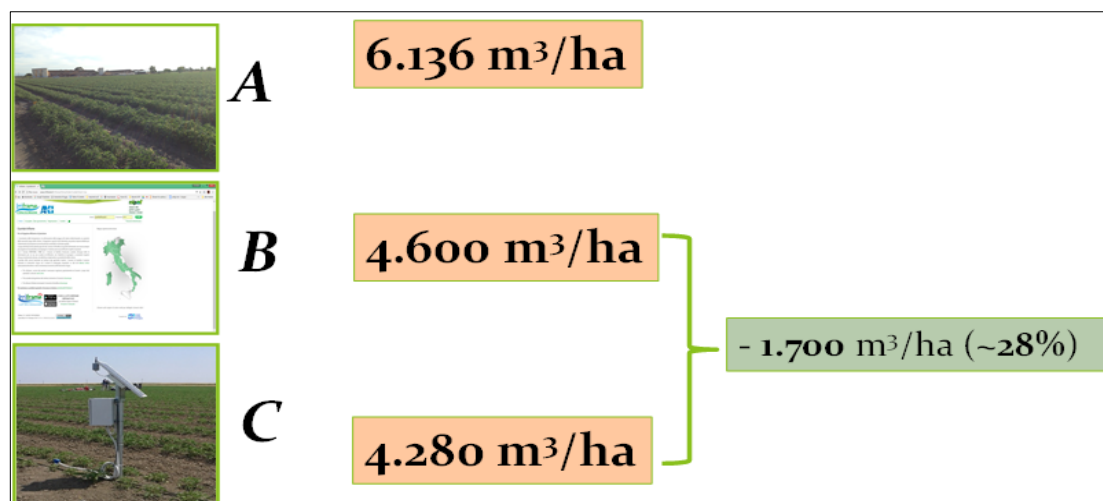


Figura 4. Volumi irrigui forniti alla coltura di pomodoro con i tre differenti metodi di programmazione irrigua adottati (Metodo A, B e C).

Dalle valutazioni comparative si è verificato come i volumi irrigui più bassi si sono ottenuti, media tra i due anni di prova, utilizzando il Metodo C, mentre i volumi più elevati si sono rilevati con il metodo A rappresentativo della programmazione irrigua comunemente adottata in azienda dall'agricoltore. L'adozione del Metodo C e B ha consentito un risparmio idrico di circa 1700 m³/ha (~28%), rispetto alla programmazione irrigua basata sulle consuetudini aziendali.

Le valutazioni produttive conclusive, ottenute con i diversi metodi irrigui, hanno evidenziato un decremento di produzione commerciabile, rispetto al metodo aziendale (Metodo A) solo del 10%, a fronte, però, di un significativo miglioramento di alcuni parametri qualitativi (indice di colore, solidi solubili e percentuale di sostanza secca) (Tabella 1).

Tabella 1. Valori medi dei principali parametri qualitativi del pomodoro riscontrati in un biennio con i differenti metodi di programmazione irrigua adottati (Metodo A, B e C).

Parametri qualitativi bacche	Valori medi stagioni ¹		
	Metodo A	Metodo B	Metodo C
pH (-)	4,32±0,19 ^a	4,27±0,16 ^a	4,13±0,19 ^a
Acidità titolabile (g ac. 100 g ⁻¹ PF)	0,26±0,02 ^a	0,26±0,05 ^a	0,30±0,01 ^a
Solidi solubili (°Brix)	4,0±0,04 ^c	4,3±0,03 ^{ab}	4,8±0,07 ^a
Indice di colore (rapporto a/b)	1,11±0,10 ^b	1,18±0,20 ^a	1,26±0,10 ^a
Sostanza secca bacche (%)	5,9±0,11 ^b	6,2±0,10 ^b	6,9±0,12 ^a

¹ Per ogni parametro qualitativo, valori medi contraddistinti da lettere differenti risultano significativamente diversi per P=0,05 (Tukey test)

Al fine di verificare l'impatto dei tre metodi sugli indicatori di intensificazione sostenibile, nella Tabella 2 sono riportati i valori di Water Use Efficiency (WUE) e di Blue Water Requirement (Ventrella et al., 2017) collegati all'adozione dei tre differenti metodi di programmazione irrigua. Si evidenzia come sia la *Irrigation Fresh Marketable Yield Water Use Efficiency* (IMFY-WUE) che la *Irrigation Marketable Dry Yield Water Use Efficiency* (IMDY-WUE) incrementano significativamente a seguito della razionalizzazione dell'irrigazione (Metodo B e C), rispetto a quanto ottenuto con la programmazione aziendale basata sulla sola esperienza dell'imprenditore (Metodo A). Inoltre, i valori di Blue Water sono risultati più bassi quando la programmazione irrigua è stata condotta mediante metodi non empirici (Metodo B e C).

Tabella 2. Valori di alcuni indicatori di sostenibilità della irrigazione del pomodoro da industria (Water Use Efficiency e di Blue Water Requirement) collegati all'adozione dei tre differenti metodi di programmazione irrigua.

	Valori medi stagioni (biennio)		
	Metodo A	Metodo B	Metodo C
Efficienza d'uso			
IMFY-WUE (kg/m ³)*	13,0	17,0	17,5
IMDY-WUE (ss kg/m ³)**	0,97	1,10	1,22
Blue Water Requirement (m ³ /t)***	57	50 (-12%)	48 (-15%)

* IMFY-WUE (*Irrigation Fresh Marketable Yield Water Use Efficiency*)

** IMDY-WUE (*Irrigation Marketable Dry Yield Water Use Efficiency*)

*** Blue Water Requirement: è definito come il rapporto tra il consumo di acqua irrigua (m³) e la resa (t). Rappresenta un indicatore che stima il consumo di acqua irrigua per unità di prodotto. Più bassi sono i valori di questo indice, più efficiente è l'uso dell'acqua di irrigazione. Rappresenta l'inverso di efficienza nell'uso dell'acqua (WUE).

Gestione della difesa: problematica nematodi

I nematodi parassiti delle piante rappresentano da sempre una delle principali avversità delle colture agricole e di conseguenza della sicurezza alimentare globale. I danni causati da

nematodi fitoparassiti sono stimati intorno agli 80 miliardi di dollari per anno (Nicol et al., 2011), anche se questa percentuale è in continua crescita nei paesi in via di sviluppo. Le limitazioni all'uso di pesticidi chimici hanno suscitato un crescente interesse negli studi sui metodi alternativi di controllo dei nematodi. Tra queste strategie di gestione dei nematodi senza l'ausilio della chimica c'è l'identificazione e l'implementazione della resistenza dell'ospite.

I nematodi fitoparassiti hanno dimensioni microscopiche, non superando in genere il millimetro di lunghezza e stabiliscono con le piante ospiti relazioni più o meno complesse, caratterizzate da deformazioni dell'apparato radicale (Fig. 5) o distruzione dei tessuti radicali della pianta, con conseguente perdita di vigoria, fino alla morte della pianta stessa (Fig. 6).

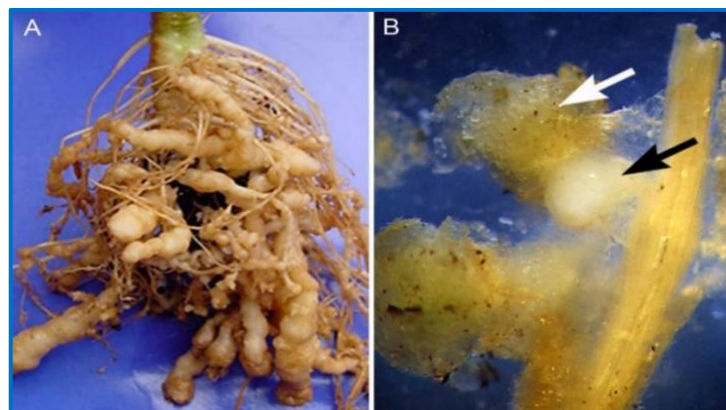


Figura 5. A: Radice di pomodoro con galle, a seguito dell'attacco di *Meloidogyne* sp.; B: frammento di radice con femmina (freccia nera) e ovisacco (freccia bianca) infissa nei tessuti vascolari dell'ospite.

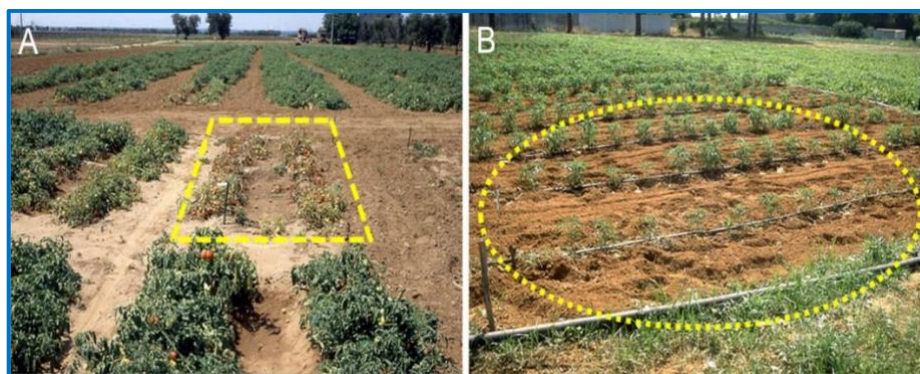


Figura 6. Danni da nematodi galligeni su pomodoro, in pieno campo. L'area tratteggiata (A) rappresenta una parcella non trattata (B) un'area infestata con piante a crescita stentata.

Le specie di nematodi fitoparassiti più dannose per il pomodoro sono i nematodi galligeni appartenenti al genere *Meloidogyne* che sono in assoluto i più importanti dal punto di vista economico e scientifico a causa delle loro complesse interazioni con le piante ospiti, l'ampia gamma di ospiti per ogni specie e il livello di danno causato dall'infezione (Jones et al., 2013; Seid et al., 2015).

Nel mondo e in Italia, le specie di *Meloidogyne* che attaccano e danneggiano gravemente il pomodoro sono *M. incognita*, *M. javanica* e *M. arenaria* (Fig. 7) (Phani et al., 2021; Sasanelli et al., 2021). In Italia, *M. incognita* è la più diffusa su pomodoro, seguita da *M. javanica* principalmente nel sud, e *M. arenaria*.

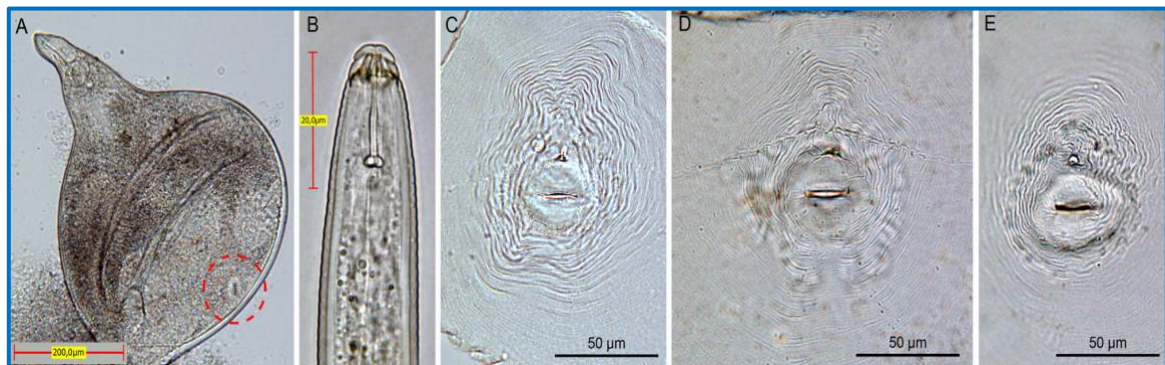


Figura 7. A: Femmina di *Meloidogyne* sp. (l'area tratteggiata indica la regione perineale che viene analizzata per l'identificazione morfologica della specie; B: regione anteriore del maschio, con stiletto; C, D E: regioni perineali rispettivamente di *M. incognita*, *M. javanica* e *M. arenaria*.

Considerati i gravi danni che queste tre specie di nematodi galligeni possono arrecare al pomodoro sia in pieno campo, che in colture protette è indispensabile effettuare una identificazione precisa e rapida, al fine di scegliere le più opportune misure di lotta. Molte specie di *Meloidogyne* presentano caratteri diagnostici molto simili tra loro e quindi difficili da discernere anche per gli specialisti del settore, pertanto l'utilizzo di tecniche molecolari (PCR, real time PCR, sequenziamento) risulta molto utile, se non indispensabile, per una corretta e precoce identificazione di specie di *Meloidogyne* nuove o aliene, distinguendole da quelle già presenti in Italia (Powers and Harris, 1993; Boros et al., 2018).

Un aspetto non secondario riguarda la tropicalizzazione del clima mediterraneo che può favorire, in assenza di misure di prevenzione e vigilanza, l'insediamento di specie di *Meloidogyne* ad alta pericolosità diffuse solo in aree tropicali e anch'esse pregiudizievoli per il pomodoro, come *M. etiopica* e *M. enterolobii*. Quest'ultima è considerata una "minaccia globale" per il pomodoro (EPPO, 2014).

La gestione dei nematodi parassiti delle piante diventa sempre più difficoltosa, sia per la ridotta disponibilità di prodotti di sintesi di elevata e generalizzata efficacia, sia per la crescente necessità di garantire la sostenibilità ambientale degli interventi di lotta. Cultivar commerciali resistenti di pomodoro portatori del gene della resistenza Mi (Kaloshian et al., 1998) vengono utilizzati con successo per gestire *M. incognita*, *M. javanica* e *M. arenaria*, anche se sono state rilevate nuove popolazioni virulente in grado di rompere la resistenza delle stesse cultivar commerciali. Si rende pertanto necessaria una gestione integrata dei nematodi galligeni. Sono presenti sul mercato o in corso di registrazione formulati di origine naturale varia (derivati di oli essenziali, estratti d'aglio, abamectina, funghi e batteri) e ammendanti che, a fronte di una piena compatibilità ambientale, non garantiscono da soli una adeguata protezione da infestazioni pesanti. Pertanto, il controllo dei nematodi fitoparassiti necessiterà sempre più di un approccio integrato che preveda da un lato una diagnosi precoce del fitoparassita, al fine di adottare strategie di controllo mirate, e dall'altro un impiego ridotto di nematocidi di sintesi, diretto a proteggere la coltura nelle prime fasi del ciclo, in combinazione con tecniche a minore impatto ambientale.

Gestione della difesa: fitofagi e problematiche per il controllo

Gli Artropodi dannosi che interessano la filiera del pomodoro da industria in Italia hanno un differente impatto nei diversi areali di coltivazione nel territorio italiano pur con alcuni denominatori comuni. Al momento le maggiori avversità sono rappresentate da due specie di

acari: il tetranychide *Tetranychus urticae* (ragnetto rosso) e l'eriofide *Aculops lycopersici* e da due specie di Lepidotteri: il nottuidae *Helicoverpa armigera* (nottua gialla) e il gelechide *Tuta absoluta*.

Attualmente la difesa contro queste avversità è incentrata principalmente sull'applicazione di prodotti fitosanitari. Tuttavia in varie situazioni, soprattutto per quanto riguarda *T. urticae* in Italia settentrionale (provincia di Piacenza) e *T. absoluta* in Italia meridionale, si è ampiamente dimostrata la difficoltà a mantenere la sostenibilità di tale approccio a causa di vistosi cali di efficienza di molti principi attivi che arrivano purtroppo anche a situazioni di resistenza conclamata (Cavallo et al., 2019; Roditakis et al., 2015; Xue et al., 2020).

L'acaro tetranychide *T. urticae* è una specie fitofaga, polifaga e ampiamente distribuita su tutto il territorio nazionale (Tirello et al., 2012). Tuttavia, il suo impatto è variabile a seconda delle annate e dei territori. Negli ultimi anni la situazione è stata particolarmente grave in provincia di Piacenza, uno degli areali più importanti e specializzati per la coltivazione del pomodoro da industria. Le condizioni climatiche, in varie annate, hanno notevolmente favorito il pullulare delle popolazioni con conseguenti difficoltà nel mantenerle al di sotto di un livello di danno (Cavallo et al., 2019). A questo proposito sono state svolte e sono tuttora in corso indagini specifiche per valutare i livelli di sensibilità ai prodotti acaricidi delle popolazioni presenti nelle aree maggiormente colpite dal problema. Le indagini hanno confermato la presenza di popolazioni certamente resistenti ad alcune molecole attualmente in uso sia tra gli adulticidi, che tra gli ovicidi. La estremamente ridotta disponibilità di meccanismi d'azione, soprattutto tra gli ovicidi, rappresenta una grave criticità per una gestione sostenibile della difesa contro questa avversità. Tuttavia, attuando una più oculata rotazione dei principi attivi e limitando nel contempo l'uso di quelli più compromessi, si sono anche evidenziati alcuni significativi miglioramenti evidenziando una ripresa, in alcune aree, della sensibilità delle popolazioni nei confronti di queste molecole. Rimane sicuramente da migliorare la gestione agronomica della coltura cercando di evitare un rigoglio vegetativo eccessivo che contribuisce a creare un habitat favorevole all'acaro e, allo stesso tempo, ostacola una efficiente distribuzione dei prodotti fitosanitari. L'uso di miscele con sostanze come i sali potassici di acidi grassi che, nei disciplinari di produzione integrata, non hanno specifiche limitazioni d'uso, ha anche evidenziato la possibilità di ottenere buoni effetti sinergici riuscendo a ripristinare l'efficacia di principi attivi più o meno seriamente compromessi da fenomeni di resistenza.

L'acaro eriofide *Aculops lycopersici* (eriofide rugginoso del pomodoro) rappresenta una importante avversità del pomodoro nell'Italia meridionale, ma purtroppo sono sempre maggiori le segnalazioni della sua presenza, a livelli tali da causare danni, anche in Italia settentrionale e perfino in aree fredde (Duso et al., 2010; Pfaff et al., 2020). L'acaro eriofide è una specie originaria dell'Australia che predilige climi caldi e non presenta stadi svernanti; inoltre, esso risulta abbastanza polifago e, in genere, le solanacee spontanee costituiscono focolai di infestazione.

La difesa fitosanitaria contro questo fitofago presenta spesso serie difficoltà in quanto varie caratteristiche bio-etologiche della specie ostacolano l'adozione di strategie di lotta efficaci (Duso et al., 2010; Pfaff et al., 2020; Vervaeke et al., 2021). Tali difficoltà derivano da:

- la polifagia e la notevole capacità riproduttiva del fitofago che è attivo tutto l'anno utilizzando molte specie di piante spontanee e/o infestanti come serbatoio per lo sviluppo continuo delle popolazioni;
- la capacità di sfruttare le correnti aeree come mezzo di diffusione;
- una azione di contenimento insufficiente da parte dei nemici naturali;

- la mancata definizione di soglie di intervento e oggettive difficoltà di effettuare efficacemente il monitoraggio di un organismo i cui adulti misurano solo 150-200 μm ;
- la sintomatologia dell'attacco che spesso è relativamente aspecifica e tardiva.

Sono inoltre note interazioni tra questa specie e le piante ospiti nelle quali, per azione dell'eriofide, vengono soppressi alcuni meccanismi naturali di difesa favorendo, quindi, la pullulazione di altri fitofagi come *T. urticae* (Glas et al., 2014).

La nottua gialla (*H. armigera*) è una specie particolarmente polifaga e su pomodoro la sua azione riguarda soprattutto le bacche. In Italia settentrionale i trapianti precoci, cioè quelli effettuati entro il 20-25 aprile sono colpiti solo marginalmente dalla 1° generazione, ma i trapianti medi e tardivi possono essere danneggiati dalle larve della seconda generazione che sviluppa nel mese di luglio e da quelle della terza a partire da agosto. Le larve scavano gallerie nelle bacche e le portano a marcescenza. Il pomodoro risulta piuttosto sensibile fino alle fasi fenologiche di invaiatura-inizio maturazione.

La difesa richiede una buona tempestività in quanto la spiccata attività endofitica può compromettere significativamente l'efficacia degli interventi se non sono tempestivi e non colpiscono le larve prima della loro penetrazione nelle bacche. Ciò è tanto più valido quando si utilizzano prodotti come virus o preparati a base di *Bacillus thuringiensis*, che generano un minor impatto ambientale ma esplicano una attività esclusivamente di copertura. Il miglioramento delle tecniche di monitoraggio può rappresentare un significativo aumento di efficienza e sostenibilità delle strategie di difesa contro questa avversità.

Con una spiccata prevalenza di presenza e dannosità in Italia meridionale è invece *T. absoluta*. È un piccolo lepidottero della famiglia dei gelechidi originario delle zone del Perù (Campos et al., 2017). La specie ha dimostrato una notevole capacità invasiva e si è rapidamente diffusa a livello internazionale in un arco temporale molto ridotto grazie anche alla sua prolificità e a un numero molto elevato di generazioni (Biondi et al., 2018). In Italia settentrionale la specie è presente e gli adulti vengono normalmente catturati dalle trappole a feromoni ma non risultano danni significativi. Le trappole a feromoni sono efficaci per individuare la presenza; tuttavia, ad oggi ci sono ancora difficoltà nel definire delle soglie di intervento (Biondi et al., 2018). Approcci di lotta più ecocompatibili, basati sull'applicazione del metodo del "mating disruption" impiegando erogatori per rilasciare nell'ambiente il feromone sessuale prodotto dalle femmine, hanno fornito risultati talvolta contrastanti. La formulazione, il dosaggio dei feromoni, gli ambiti di applicazione giocano un ruolo importante come pure la partenogenesi e la poliandria riscontrate in varie popolazioni possono parzialmente ridurre l'efficacia di questo e altri metodi di lotta basati sull'utilizzo di feromoni (Siscaro et al., 2012). Sistemi integrati di cattura massale che abbinano feromoni con sorgenti luminose hanno fornito risultati interessanti (Siscaro et al., 2012). Molti studi si sono anche orientati a valutare la possibilità di attuare un controllo biologico che tuttavia risente della mancanza di antagonisti specializzati (Biondi et al., 2018). La difesa chimica rimane in molti casi la scelta principale ma la notevole pressione chimica cui la specie è stata sottoposta nei programmi di difesa, spesso con applicazioni eccessive e irrazionali, ha selezionato rapidamente popolazioni resistenti ad un ampio spettro di principi attivi (Guedes et al., 2019).

Alla luce di questi fatti e soprattutto considerando che nella maggior parte dei casi un approccio esclusivamente chimico e non ragionato all'incremento delle produzioni si è dimostrato sempre più spesso poco efficiente se non addirittura fallimentare, occorre adottare sempre più un approccio integrato alla produzione che possa garantire la sostenibilità della

coltura mettendo in gioco ogni possibile strumento che garantisca l'equilibrio di tutti i fattori coinvolti.

Il ruolo della genetica agraria nella filiera del pomodoro da industria

Grazie al ridotto livello di ploidia ($2n = 2x = 24$) e alla relativa semplicità della biologia riproduttiva e di quella genetica, per cui è relativamente semplice selezionare linee omozigoti stabili, che possono essere con altrettanta facilità incrociate tra loro per produrre popolazioni segreganti, il pomodoro nel tempo è diventata una specie di riferimento per studi fisiologici e genetici. Grazie a tali studi, e alla possibilità di accedere alla variabilità genetica presente in molte specie selvatiche imparentate, sono stati sviluppati numerosi programmi di miglioramento genetico convenzionale basati sull'incrocio, intraspecifico o interspecifico, che hanno portato alla selezione di genotipi omozigoti, che dapprima sono stati usati direttamente come varietà e poi, a partire dagli anni '70-'80 del '900, anche come linee parentali per la produzione di ibridi F₁ (Fig. 8).

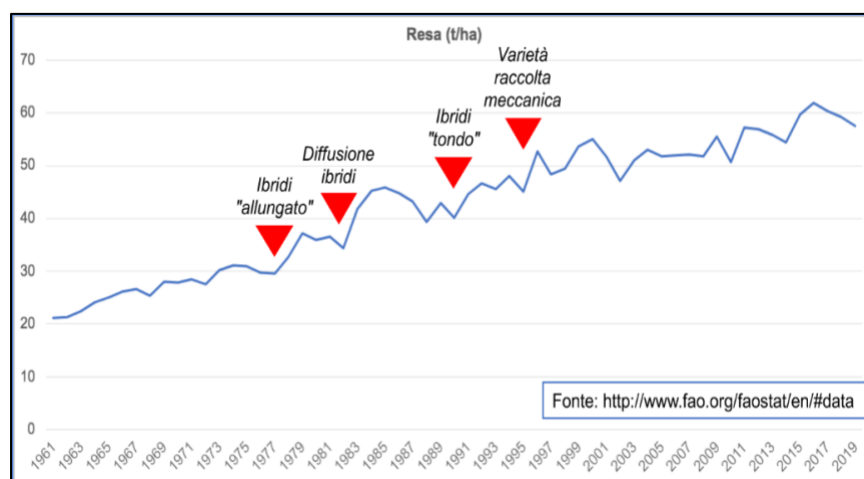


Figura 8. Evoluzione delle rese dal 1961 al 2019. È evidenziata la comparsa e diffusione degli ibridi e delle varietà per la raccolta meccanica.

La variabilità genetica naturale del *Gene-pool* primario e secondario, presente nella specie *S. lycopersicum* e in quelle selvatiche ad essa imparentate, è stata successivamente integrata da quella derivante da esperimenti di mutagenesi artificiali, ampliando lo spettro di mutazioni utili. Marcatori molecolari, associati ai caratteri oggetto della selezione, sono oggi comunemente usati per la selezione di genotipi ricombinanti (Barone e Frusciante, 2007). Inoltre, varie tecniche di trasformazione genetica consentono di trasferire singoli geni, anche da altre specie, codificanti caratteristiche qualitative o di resistenza, ma, per motivi vari, i genotipi così prodotti non si sono diffusi sul mercato. Una grande rivoluzione, però, è avvenuta negli ultimi 20 anni, grazie allo sviluppo delle tecniche di sequenziamento e delle altre tecnologie *-miche*, che hanno permesso di accumulare molte conoscenze sulla struttura e sulla funzione dei genomi e dei geni che controllano caratteri utili. Queste conoscenze sono oggi utilizzabili non solo per la selezione mirata di genotipi ricombinanti in cui sono accumulate più caratteristiche d'interesse (*genomics-assisted breeding*), ma anche per l'applicazione delle nuove tecnologie di *editing* genomico, che consentono di modificare in maniera precisa e mirata i geni che controllano caratteri deficitari in varietà *elite* (Barone et al., 2009; Cardi et al., 2017; Xia et al., 2021).

Il miglioramento genetico del pomodoro da industria ha portato da molti anni ormai alla selezione di varietà specifiche più adatte alla raccolta meccanica, a crescita determinata (mutazione *sp, self-pruning*) e con il pedicello che si stacca facilmente dal frutto (mutazione *j-2, jointless-2*). Più di recente sono stati individuati i geni principali che controllano altri caratteri di notevole interesse come la grandezza (es. *fw2.2*), la forma (es. *ovate*) o la maturazione della bacca (es. *rin, Gr*). Per quanto riguarda la tipologia di varietà, quelle omozigoti (linee pure) sono state ormai quasi completamente sostituite da ibridi F₁ altamente eterozigoti che non solo sfruttano il fenomeno dell'eterosi (vigore ibrido), con effetti molto significativi sulla produttività, ma consentono anche una più semplice introduzione di caratteristiche d'interesse, come la resistenza a malattie. Soprattutto per la coltivazione in biologico, alcune varietà locali (es. Cuor di bue, Pera d'Abruzzo) possono essere utilizzate per produrre passate non standard per mercati di nicchia. Diverse specie selvatiche sono una fonte preziosa di geni codificanti caratteristiche utili come resistenza a vari patogeni, qualità della bacca, adattabilità a stress abiotici (carezza idrica, salinità) (Rick e Chetelat, 1995; Tanksley e McCouch, 1997) (Tabella 3).

Impatto della soluzione tecnica proposta sugli indicatori di intensificazione sostenibile

Grazie all'utilizzazione integrata delle diverse tecnologie su evidenziate, la genetica e il miglioramento genetico possono contribuire ad affrontare vari aspetti legati alla coltivazione sostenibile del pomodoro da industria nel nostro Paese, come l'utilizzazione dei nutrienti (N e P) e dell'acqua, e l'uso di antiparassitari contro organismi patogeni e/o parassiti. Mentre molti obiettivi sono comuni alla coltivazione in regime integrato o biologico, la doppia resistenza a *Peronopora* e *Alternaria* è un obiettivo altamente desiderabile particolarmente nel secondo caso. Recentemente, sono stati avviati diversi programmi di ricerca e di miglioramento genetico specifici per la coltivazione del pomodoro in regime biologico (Tripodi et al., 2021).

Gli obiettivi di miglioramento genetico menzionati concorrono a migliorare diversi indicatori di sostenibilità ecologica e di efficienza d'uso delle risorse: la selezione di genotipi con una maggiore efficienza nell'uso di nutrienti e acqua riducono l'apporto dei primi e il consumo di acqua irrigua nella fase di produzione, mentre l'introduzione di geni di resistenza nei genotipi coltivati ha un effetto positivo sulla quantità e sul tipo di fitofarmaci apportati. Tra gli indicatori di sostenibilità sociale, il minor uso di antiparassitari ottenibile con le resistenze genetiche migliora anche le caratteristiche salutistiche delle produzioni.

Rispetto all'efficienza d'uso dei nutrienti e dell'acqua, l'introduzione di resistenze genetiche ha sinora prodotto più risultati, sia per la minore complessità fisiologica e genetica, sia per la maggiore disponibilità di geni di resistenza in specie selvatiche incrociabili con il pomodoro coltivato. Alcuni esempi sono riportati in Tabella 4, dove si può osservare da un lato il costante aumento nel tempo dei geni di resistenza utilizzati, dall'altro la presenza di resistenze multiple negli ibridi di ultima generazione.

In alcuni casi, il trasferimento di geni di resistenza multipli dal *gene-pool* selvatico può avere effetti negativi sulla *performance* dei genotipi coltivati, a causa di effetti pleiotropici degli stessi geni o dell'effetto di altri geni indesiderati, trasmessi insieme a quelli d'interesse (*linkage drag*). Comunque, le conoscenze sui genomi vegetali accumulate negli ultimi anni e le tecnologie avanzate di selezione assistita e di *editing* genomico oggi disponibili avranno sicuramente un effetto positivo sugli aspetti menzionati, consentendo approcci sempre più mirati e rapidi, per cui aumenterà sempre più il numero e il tipo di geni di resistenza presenti nelle future varietà.

Tabella 3. Esempi di geni di resistenza ai principali patogeni e parassiti del pomodoro da industria e delle specie di origine.

Categoria patogeni	Avversità/malattia	Agente eziologico	Geni di resistenza	Specie di origine
Virus	Mosaico del tabacco	<i>Tobacco Mosaic Virus</i> (TMV)	<i>Tm-1</i>	<i>S. habrochaites</i>
			<i>Tm-2, Tm-2²</i>	<i>S. peruvianum</i>
	Avvizzimento maculato	<i>Tomato Spotted Wilt Virus</i> (TSWV)	<i>Sw-5, Sw-5a, Sw-5b, Sw-6</i>	<i>S. peruvianum</i>
Batteri	Picchiatura batterica	<i>Pseudomonas syringae</i> pv <i>tomato</i>	<i>Pto</i>	<i>S. pimpinellifolium</i>
	Maculatura batterica	<i>Xanthomonas campestris</i> pv <i>vesicatoria</i>	<i>rx-1, rx-2, rx-3</i>	<i>S. lycopersicum</i> cv. 'Hawaii 7998'
	Avvizzimento batterico	<i>Ralstonia solanacearum</i>	4 QTL: <i>Bwr-3, Bwr-4, Bwr-6, Bwr-8</i>	<i>S. lycopersicum</i> cv. "Hawaii 7996"
	Cancro batterico del pomodoro	<i>Clavibacter michiganensis</i> subsp <i>michiganensis</i>	2 QTL: <i>Rcm2.0, Rcm5.1</i>	<i>S. habrochaites</i>
Funghi	Tracheovercilliosi	<i>Verticillium albo-atrum, Verticillium dahliae</i>	<i>Ve</i>	<i>S. pimpinellifolium</i>
	Tracheofusariosi	<i>Fusarium oxysporum</i> f. sp. <i>lycopersici</i>	<i>l, l-2</i>	<i>S. pimpinellifolium</i>
			<i>l-3</i>	<i>S. pennellii</i>
	Alternariosi	<i>Alternaria alternata</i> f.sp. <i>lycopersici</i>	<i>Asc</i>	<i>S. pennellii</i>
	Stemfiliosi	<i>Stemphylium botryosum</i> f.sp. <i>lycopersici, Stemphylium solani</i>	<i>Sm</i>	<i>S. pimpinellifolium</i>
	Cladosporiosi	<i>Cladosporium fulvum</i>	<i>Cf</i> (da 1 a 24)	<i>S. habrochaites, S. peruvianum, S. pimpinellifolium, S. lycopersicoides</i>
	Oidio	<i>Leveillula taurica</i>	<i>Lv</i>	<i>S. chilense</i>
		<i>Oidium neolycopersici</i>	<i>Ol</i> (da 1 a 5)	<i>S. habrochaites</i>
Peronospora	<i>Phytophthora infestans</i>	<i>Ph1-Ph-4</i>	<i>S. habrochaites, S. pimpinellifolium</i>	
Nematodi	Nematodi galligeni	<i>Meloidogyne arenaria, incognita, javanica</i>	<i>Ma, Mi, Mi-1, Mi-3, Mi-9</i>	<i>S. peruvianum</i>

Tabella 4. Esempi di resistenze introdotte nelle varietà di pomodoro da industria rilasciate nel periodo 1990 – 2019.

Varietà	Ditta sementiera	Tipo	Tipo Bacca	Anno iscrizione	Resistenze ^a
Ulisse	Syngenta	Varietà	Lungo	1990	V, F
Perfectpeel	Petoseed	Ibrido	Tondo	1993	V, F, St, ASC
Talent	Esasem	Ibrido	Lungo	1994	V, F, Pto
JoY	Monsanto	Ibrido	Tondo	1995	V, F
York	Nunhems	Ibrido	Tondo	1998	V, FI-2, TSWV
Isola	Nunhems	Ibrido	Tondo	1999	V, F, Pto
Podium	Esasem	Ibrido	Tondo	1999	V, F, N
Colosseum	Agrow	Ibrido	Lungo	2000	V, F, N, St, Pto
Genius	ISI Sementi	Ibrido	Lungo	2000	V, F
Galeon	Monsanto	Ibrido	Lungo	2001	V, F, St, ASC
Leader	ISI Sementi	Ibrido	Tondo	2001	V, F, N, Pto
Pullrex	Monsanto	Ibrido	Lungo	2001	V, F, St, ASC, ToMV
UG 812	Unigen	Ibrido	Tondo	2001	V, F, N, Pto
Messapico	Nunhems	Ibrido	Lungo	2003	V, F, N, Pto, TSWV
Player	ISI Sementi	Ibrido	Lungo	2003	V, F, N, Pto, TSWV
UG 822	Unigen	Ibrido	Lungo	2003	V, F, N, Pto
Ercole	Syngenta	Ibrido	Lungo	2004	V, F, N, Pto
Docet	Monsanto	Ibrido	Lungo	2005	V, FI-2, Pto, TSWV
Brixsol	Unigen	Ibrido	Tondo	2006	V, FI-2, N, Pto, TSWV
Progress	Monsanto	Ibrido	Tondo	2006	V, F, N, Pto, St, ASC
Taylor	Nunhems	Ibrido	Lungo	2015	Fol: 0,1 / Pst: 0 / Va / VdTSWV
Performer	ISI Sementi	Ibrido	Lungo	2016	Fol: 0 / Pst: 0 / Va: 0 / Vd: 0 / ToMV: 0-2Ma / Mi / Mj / TSWV: 1
Vulspot	Nunhems	Ibrido	Tondo	2016	Fol: 0,1 / Mi / Pst: 0 / Va: 0 / Vd: 0 / Ma / Mi / Mj / TSWV
Liternum	Clause	Ibrido	Tondo	2017	Fol: 0,1 / Va: 0 / Vd: 0Ma / Mi / Mj / TSWV: T0
Solerex	Syngenta	Ibrido	Lungo	2018	Fol: 0 / Va: 0 / Vd: 0 / ToMV: 2 / TSWV / Ma / Mi / Mj
Passenger	ISI Sementi	Ibrido	Lungo	2019	Fol: 0,1 / TSWV: T0 / Va: 0 / Vd: 0 / Ma / Mi / Mj / TSWV: T1

^a *Peronospora* (Pi); *Alternaria* (Asc, EB); *Nematodi* (N/Ma/Mi/Mj); *Fusarium* (Fol0,1; For); *Verticillium* (V/Va/Vd); *Pseudomonas* (Pto, Pst0); *Virosi* (TSWV, ToMV); *Xanthomonas* (X); *Clavibacter* (CM); *Stemphylium* (Sm)

Le infestazioni di piante parassite (nel caso del pomodoro soprattutto la specie *Phelipanche ramosa*) sono un problema emergente negli areali coltivati con pomodoro da industria sia nel Sud, che nel Nord Italia (Conversa et al., 2017; Disciglio et al., 2018; Caponero, 2021). Approcci agronomici o chimici sono utilizzabili in maniera limitata. Inoltre, nel pomodoro non sono noti geni di resistenza che possono essere trasferiti dalle specie selvatiche in quella coltivata, sebbene un certo grado di resistenza sia stato riportato in *S. pennellii*, *S. pimpinellifolium* e altri genotipi (Qasern e Kasrawi, 1995; El-Halmouch et al., 2006). Un approccio alternativo prevede di selezionare mutanti per la sintesi o il trasporto degli strigolattoni, molecole che, rilasciate dalla pianta ospite nel terreno, stimolano la germinazione dei semi di Orobanche. Recentemente, piante mutanti resistenti sono state ottenute mediante *editing* genomico (Nicolia et al., 2021). A causa della ridotta produzione di strigolattoni, esse confermano alcune alterazioni del fenotipo descritte in letteratura, ma può essere valutato il loro uso come portinnesti (Argerich e Smith, 2019), in quanto non sono generalmente visibili effetti sullo sviluppo del nesto (Fig. 9). Tuttavia, al fine di provare anche nel nostro Paese la *performance* di questi mutanti in pieno campo, è necessario che le attuali limitazioni nella normativa vigente siano superate al più presto.

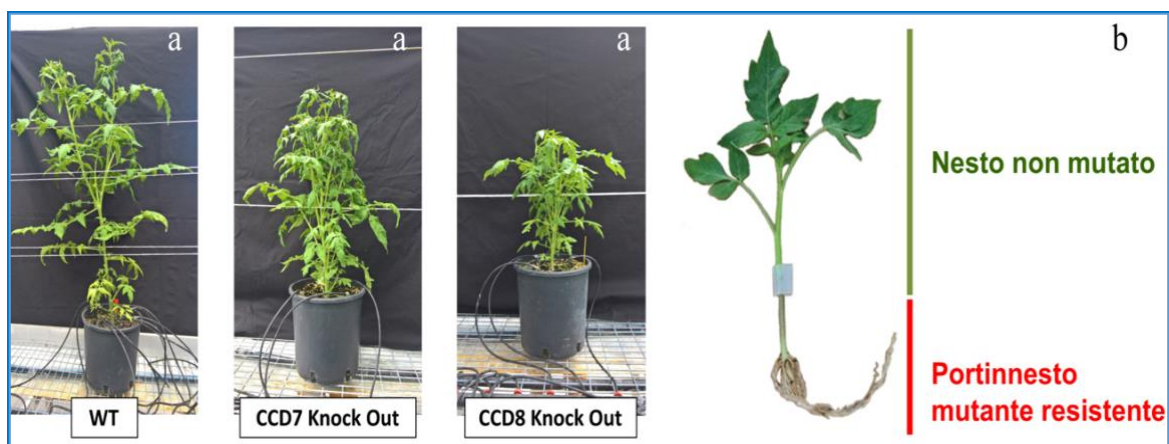


Figura 9. Confronto tra piante *wild type* e piante editate nei geni *ccd7* e *ccd8*, coinvolti nella sintesi di strigolattoni e nella resistenza a Orobanche (a). Possibile uso dei mutanti *ccd7* e *ccd8* come portinnesti (b). (Foto di Alessandro Nicolìa, CREA Orticoltura e Florovivaismo, Pontecagnano).

Trapianto e meccanizzazione della raccolta: aspetti tecnologici

Trapianto (Monarca, 2020)

Il trapianto del pomodoro può comportare diversi vantaggi nel suo ciclo di lavorazione, tra cui l'anticipazione del ciclo colturale, una maggior competitività con le erbe infestanti, la riduzione delle fallanze e l'ottimizzazione del ciclo colturale stesso. Per contro alcuni aspetti possono limitarne la convenienza come il costo delle piantine, possibili problemi di attecchimento e stress da trapianto, un minor approfondimento dell'apparato radicale e infine, in linea generale, la necessità di una maggiore forza lavoro. Per far fronte alle problematiche connesse con la necessità di mano d'opera sono state realizzate macchine trapiantatrici in grado di alleggerire gli impatti dell'operazione del trapianto sul costo del personale. Si può iniziare con macchine agevolatrici, in cui il personale che esegue il trapianto è trasportato dal mezzo,

oppure passare al trapianto meccanico dove il personale è posizionato sul mezzo, ma solamente per alimentare il sistema di trapianto meccanico, fino alla trapiantatrice automatica dove le piantine sono caricate sul mezzo che fisicamente effettua il trapianto senza necessità dell'intervento umano. Tali macchine trapiantatrici possono essere trainate o portate da trattori convenzionali, oppure semoventi dove la macchina trapiantatrice possiede capacità di movimento autonomo. Particolarmente interessante è la possibilità offerta da sistemi di equipaggiamento di azioni combinate come i Distributori di Fertilizzanti e di concimi granulari e microgranulari, l'irrigazione localizzata, la stesura e interrimento di manichette o di teli di pacciamatura (polietilene, biodegradabili, cellulosa, di varie dimensioni, da 750-2000 mm). È possibile anche la combinazione con utensili per la lavorazione del terreno.

Meccanizzazione della raccolta

Mentre la raccolta del pomodoro da mensa non è meccanizzabile e richiede circa 350 ore di lavoro a ettaro, con 100 kg/h per garantire la necessaria elevata qualità richiesta dal mercato del fresco, con elevato PLV, la raccolta del pomodoro destinato all'industria di trasformazione può essere meccanizzata. In caso di raccolta meccanica, sono necessarie 5-6 h di lavoro/ha che consentono di ottenere 20-40 t/h di lavoro, con minore PLV. Risulta però necessario disporre di varietà di pomodoro selezionate per meccanizzazione con livelli di maturazione contemporanea, piante «jointless», sia per l'aumento delle rese di trasformazione, che per garantire la necessaria resistenza meccanica delle bacche.

Le raccogliatrici meccaniche del pomodoro sono macchine a cantieri riuniti (modelli sia trainati che semoventi) costituiti da apparato falciante, apparato separatore delle bacche, apparato selezionatore e braccio di carico (Fig. 10). Le ultime macchine per la raccolta sono dotate di uno o più dispositivi di selezione ottica.



Figura 10. Raccogliatrice meccanica semovente (Monarca, 2020)

Il pomodoro si sposta su un nastro posto allo stesso livello del selezionatore e se idoneo viene immesso sul nastro sottostante. A seconda del colore e del livello di sensibilità

impostato, vengono attivati uno o più martelletti che eliminano l'eventuale prodotto di scarto (Fig. 11).



Figura 11. Schema di cernitrice elettronica per la raccolta del pomodoro (Monarca, 2020)

Sostenibilità dei prodotti trasformati: analisi delle problematiche e delle innovazioni

Peculiarità e Problematiche della trasformazione del pomodoro

La prerogativa più importante della filiera del pomodoro da industria è sicuramente l'accordo di settore che ogni anno viene siglato tra organizzazioni di produttori agricoli e attori industriali, con valore di quota 100 €/ton e 4,85° Brix per il 2021, considerato un ottimo livello di intesa. Svolgono un ruolo fondamentale in tale ambito le Organizzazioni Interprofessionali (OI) del Nord e del Centro Sud. Infatti, l'organizzazione interprofessionale è lo strumento indicato dai regolamenti europei per l'organizzazione dell'integrazione della produzione agricola con la trasformazione industriale, ed eventualmente con la distribuzione commerciale in particolare nelle filiere dell'ortofrutta.

Fra le finalità delle OI previste dalla normativa vi è il miglioramento della conoscenza e trasparenza della produzione e dei mercati, tramite specifiche ricerche e la rilevazione di dati statistici, la previsione del potenziale di produzione, la redazione di contratti tipo per la vendita di prodotti agricoli, l'adozione di regole condivise volontarie per la trasparenza, la lealtà e la correttezza nei rapporti di filiera, l'equa distribuzione del valore tra le parti, la gestione di filiera delle emergenze fitosanitarie, la promozione e la valorizzazione dei prodotti per origine, qualità, sostenibilità ambientale e sociale.

In sintesi, l'OI è uno spazio di confronto paritario fra parte agricola e parte industriale, per la condivisione di soluzioni sulle varie problematiche della filiera finalizzate a migliorarne qualità, distintività, sostenibilità, valore e competitività internazionale.

L'OI del Centro-Sud associa i soggetti economici della filiera del pomodoro delle regioni Abruzzo, Basilicata, Calabria, Campania, Lazio, Marche, Molise, Puglia, Toscana, Sardegna, Sicilia e Umbria mentre, l'OI Pomodoro da Industria del Nord Italia è l'Organizzazione Interprofessionale interregionale riconosciuta dal Ministero delle Politiche Agricole nel 2017 e dalla Direzione Generale Agricoltura e Sviluppo Rurale dell'Unione Europea nel 2012 e associa i soggetti economici della filiera del pomodoro del Nord Italia - nello specifico nelle regioni

Emilia-Romagna, Lombardia, Piemonte, Veneto e nella provincia autonoma di Bolzano. In tutti i casi nelle OI vige la ripartizione paritaria dei voti fra la componente di produzione agricola e quella di trasformazione.

Tra i maggiori elementi che meritano attenzione da parte della trasformazione industriale del pomodoro, vi sono la tendenza negli ultimi anni alla riduzione del residuo secco, e quindi dei °Brix, con riduzione delle rese soprattutto per la produzione di concentrati. Inoltre vi è una sempre maggiore attenzione all'impatto dei mezzi tecnici in campo e delle modalità di irrigazione sulla qualità del prodotto destinato alla trasformazione così come si sviluppa l'attenzione alla introduzione di nuove varietà resistenti a Peronospora.

D'altra parte, tra gli aspetti da considerare positivi per l'evoluzione del settore della trasformazione, troviamo la presenza di tecnologie ben consolidate nelle aziende grazie a imprese leader mondiali nel settore degli impianti di trasformazione alimentare, con una concentrazione importante soprattutto nella regione Emilia-Romagna per ciò che riguarda la trasformazione del pomodoro. Le tecnologie, pur se da alcuni anni ben inserite nella realtà industriale, sono in continua evoluzione con alcune tappe fondamentali di innovazione, come la maggiore flessibilità dei concentratori a multiplo effetto più evoluti, l'evoluzione nel comparto del confezionamento con l'Hot filling per prodotti consumer e il confezionamento asettico dei semilavorati, che hanno rivoluzionato la logistica della filiera dei pomodori di prima trasformazione destinati alle aziende di lavorazione dei prodotti finiti (Bellini, 2020).

Innovazioni nel campo dei processi di produzione di pomodoro concentrato

Un interessante evoluzione nel campo della concentrazione è rappresentata dalla ricompressione meccanica dei vapori (MVR o RMV). Tra le tecnologie per aumentare l'efficienza degli evaporatori, vediamo l'uso del multiplo effetto con ricompressione termica dei vapori (TVR o RTV) ed integrazione delle stesse tecnologie. L'evaporazione avviene in un unico ambiente a una unica pressione (e quindi temperatura) di ebollizione. I vapori rilasciati nella fase di ebollizione non vengono condensati ma riqualificati energicamente mediante un compressore centrifugo che ne aumenta l'entalpia e riutilizzati come fluido riscaldante per il prodotto (Fig. 12).

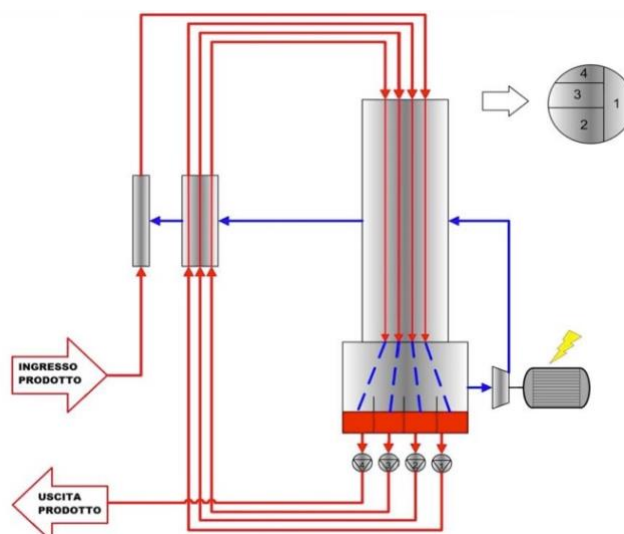


Figura 12. Apollo CFT, schema di flusso semplificato (Botti, 2021)

La tecnologia RTV consente quindi un trattamento delicato del prodotto con temperature relativamente basse, brevi tempi di processo e consumo di vapore molto basso, una elevata flessibilità operativa e semplicità di installazione (Botti, 2021).

Oltre all'evoluzione dei processi per l'ottenimento dei concentrati, anche le tecnologie dei pomodori pelati hanno avuto innovazioni tecnologiche, tra cui la messa a punto delle tecnologie di pelatura a vapore con raffreddamento sottovuoto.

Processi di trasformazione "mild": produzione di Pomodori Semidry

Un altro elemento interessante nell'innovazione tecnologica dei derivati del pomodoro è quello dell'introduzione delle tecnologie "mild". Tra queste l'ottenimento di prodotti semi-disidratati mediante trattamenti osmotici.

Una ricerca finanziata dalla Regione Puglia, in forma di Progetto Esplorativo a favore di PMI pugliesi ha coinvolto diversi partner pubblici e privati (Azienda Fiordelisi, UniFG, UniSalento, PoliBA, STC Consulting). Il lavoro di ricerca, commissionato all'Università di Foggia dall'azienda "Fiordelisi", destinataria dell'agevolazione, aveva l'obiettivo di mettere a punto un nuovo prodotto di V gamma (*ready to use*) a base di pomodoro, con caratteristiche il più possibile simili a quelle del pomodoro fresco, ma con una shelf-life di almeno 30 giorni. Il prodotto finale doveva essere inoltre conservato senza liquido di copertura o con un leggero condimento e l'uso di sale doveva essere ridotto.

La tecnologia proposta dal Laboratorio di Tecnologie Emergenti e Formulazioni Alimentari (TEFA) dell'Università di Foggia è stata quella dell'osmo-disidratazione, da sperimentare in una prima fase su un impianto pilota in dotazione presso il laboratorio e successivamente su un impianto industriale, progettato dalla società STC Consulting, partner del progetto, e allestito presso l'azienda committente (Severini, 2008).

La sperimentazione è iniziata con uno screening effettuato su dieci sciroppi zuccherini presenti in commercio, tra cui scegliere l'agente osmotico più adatto alla materia prima e agli obiettivi del progetto. Lo screening ha riguardato le caratteristiche principali degli sciroppi, quali: composizione chimica, concentrazione, potere dolcificante, viscosità, conservabilità a temperatura ambiente, costo.

Complessivamente, nel corso della sperimentazione sono state studiate le seguenti variabili di processo:

- tempo di trattamento (tra 2 e 16 ore)
- dimensione degli spicchi (in relazione al calibro)
- rapporto soluzione/prodotto
- concentrazione di cloruro di sodio (da 0,5 a 3%)
- temperatura di trattamento (ambiente o HTST)
- velocità del trasferimento di massa (foratura cuticola superficiale, velocità di agitazione della soluzione)
- caratteristiche della soluzione osmotica riutilizzata per più cicli di trattamento.

I prodotti ottenuti sono stati parzialmente stabilizzati con vapore e confezionati in vaschette di PE trasparente in atmosfera protettiva (80% N₂ e 20% CO₂).

Per ogni prova sono stati poi valutati gli effetti del trattamento di osmosi sul pH e l'attività dell'acqua (*a_w*) del prodotto osmo-disidratato e sulle sue caratteristiche sensoriali (Derossi et al., 2010, 2015).

A fine sperimentazione i prodotti ottenuti hanno incontrato il favore dell'azienda committente in particolare per quanto riguardava le caratteristiche sensoriali, proprie di un

prodotto di alta qualità, nonostante la shelf-life non raggiungesse il termine ipotizzato dall'azienda.

Il risultato è stato ottenuto grazie a una idonea combinazione di interventi tecnologici, che ha consentito il raggiungimento degli obiettivi aziendali, minimizzando i possibili effetti collaterali indesiderati. La strategia delle “azioni combinate” è stata applicata seguendo la nota Hurdles Technology, vale a dire opponendo alla crescita microbica una serie di “ostacoli” quali, in questo caso, diminuzione dell' a_w , uso di sale, uso di atmosfera protettiva, refrigerazione in conservazione.

Produzione di Pomodori Essiccati Mediante Metodi Innovativi

Tra i derivati di pomodoro di carattere “edonistico” i prodotti essiccati sono tra quelli maggiormente apprezzati, anche all'estero, come prodotti tipici italiani. Le caratteristiche che contraddistinguono il pomodorino essiccato sono: stabilità di conservazione, praticità di trasporto, qualità nutraceutiche (ricco in licopene, fibre e sali minerali), gusto tipico, molteplicità di utilizzo (antipasti, contorni, condimenti).

Tradizionalmente, i pomodori vengono essiccati al sole d'estate e in essiccatori ad armadio in inverno, qualora la produzione primaria provenga da paesi esteri. Nel caso dell'essiccamento al sole, il principale problema da affrontare è il rischio igienico-sanitario causato da insetti, uccelli, roditori e attacchi fungini. Il prodotto è inoltre esposto alla polvere e ad agenti atmosferici (vento, pioggia) che rendono a volte poco gestibile l'intero impianto, se si vuole garantire una buona qualità del prodotto finito.

Con un progetto finanziato dalla Fondazione Domenico Siniscalco Ceci, l'Università di Foggia ha studiato l'ipotesi di un essiccamento “solare” protetto, mediante un impianto innovativo, appositamente progettato.

Nella prima fase della ricerca sono state studiate le varietà di pomodoro prodotte in Puglia e destinate all'essiccamento (Crosby, Everton, Perfect peel, Smart, Player, Massaro, Discovery, Docet), caratterizzandole per proprietà morfologiche (lunghezza, diametro sezione, peso, spessore polpa) e chimico-fisiche (umidità, residuo secco, ceneri, fibra grezza, proteine, solidi solubili, zuccheri riduttori, acidità totale, colore, contenuto in licopene, acido ascorbico, pH, consistenza). Le prove di essiccamento al sole hanno mostrato cinetiche diverse tra le varietà studiate e, dal confronto tra le diverse caratteristiche chimico-fisiche e sensoriali dei prodotti finali, alcune di esse si sono mostrate particolarmente idonee alla trasformazione in essiccati (Discovery, Smart, Crosby e Massaro).

Lo studio del processo di produzione post-essiccamento ha fatto emergere che in alcuni casi il prodotto veniva acidificato successivamente alla disidratazione mediante *dipping* in soluzione di acido acetico, provocando così una minore efficienza produttiva e un aumento dei costi (riumidificazione del prodotto, rallentamento della produzione, elevato consumo di energia, elevato consumo di acqua, costi per lo smaltimento reflui, costi di manodopera) (Derossi et al., 2007). Nell'ambito della ricerca è emersa quindi la possibilità di sostituire questa fase di processo post-essiccamento con una di acidificazione mediante una soluzione acida concentrata e nebulizzata sul prodotto prima dell'essiccamento (Brevetto nazionale n. 0001394111 “Metodo di produzione di conserve e semiconserve vegetali in pezzi”).

L'ultima fase del progetto ha riguardato la progettazione dell'impianto innovativo di “solar drying”, condotta in collaborazione con il Dipartimento ITACA (facoltà di Architettura) dell'Università di Roma La Sapienza. I requisiti del nuovo impianto erano il controllo della qualità igienica dei prodotti, maggior efficienza del ciclo produttivo, facilità di montaggio e smontaggio, costo competitivo. Con questi obiettivi sono stati scelti la forma (cilindrica a base

circolare) e i materiali (leggeri, polimerici stabili e atossici) e realizzato il prototipo, poi utilizzato per le prove sperimentali.

I risultati delle prove condotte sull'impianto pilota hanno mostrato un incremento della temperatura interna, rispetto a quella esterna, compreso mediamente tra i 3° e i 5° C, oltre a tutti i vantaggi igienico-sanitari derivanti da un processo condotto in condizioni protette e controllate.

Un ulteriore passaggio evolutivo nel campo dell'essiccazione è presentato dal Sistema di disidratazione SMART basato sull'uso dell'apprendimento profondo (o Deep Learning) sviluppato dall'Università della Tuscia e applicato al pomodoro (Moscetti et al., 2020).

Lo studio ha riguardato lo sviluppo di un disidratatore smart TRL-6 che fosse in grado di selezionare in autonomia i parametri di processo (temperatura, umidità e velocità dell'aria) a seguito del riconoscimento del prodotto, nonché monitorare i cambiamenti di qualità e la perdita di umidità nel prodotto tramite l'implementazione della visione artificiale. Lo studio è stato condotto nell'ambito di tre progetti: (i) SusOrgPlus "Development of smart and low energy input processing chains, natural food additives and colourants, and supportive material for a code of practice to increase sustainability and consumer acceptance of organic food stuffs" (ERA-NET), (ii) Orticoltura 2.0 (16.2 – Regione Umbria) e (iii) Ready Dry 4.0 (Progetto MISE) ed ha riguardato lo sviluppo di un prototipo di essiccatore intelligente dotato di microcomputer, microcontrollori e sensori, completamente collegato ad un sistema di gestione dei dati (DMS), utilizzando Elasticsearch come motore di analisi open-source per dati strutturati e non strutturati (dati testuali/numerici e dati grezzi, entrambi acquisiti in linea) (Fig. 13).

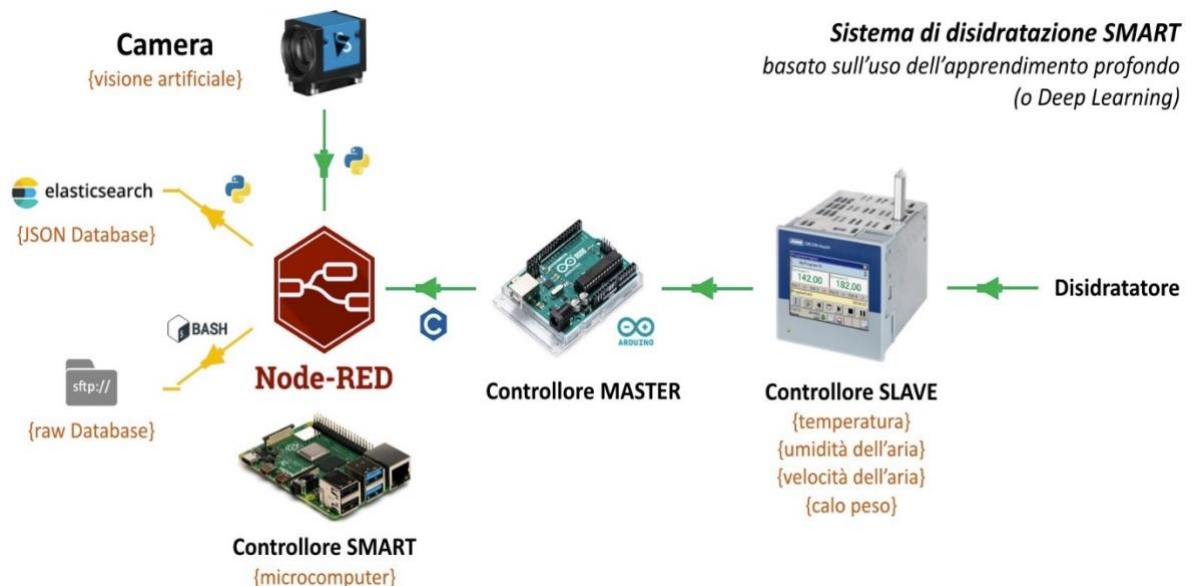


Figura 13. Prototipo di essiccatore intelligente dotato di microcomputer, microcontrollori e sensori (Moscetti et al., 2020).

Allo scopo, è stato utilizzato un disidratatore ad armadio, modificato ad-hoc per il monitoraggio di processo. Oltre ai canonici sensori temperatura e U.R., sono stati implementati (i) una camera oscura sulla parte superiore dell'essiccatore; (ii) un sistema di illuminazione LED nella camera oscura; (iii) una fotocamera digitale industriale; (iv) un sistema di raffreddamento per la camera oscura; (v) una cella di carico in grado di lavorare a una temperatura massima di

70 °C; (vi) un microcontrollore master Arduino UNO da interfacciare con la cella di carico; (vii) un controllore slave Jumo Dicon Touch; (viii) un minicomputer Raspberry Pi 4.

Per lo sviluppo del sistema è stato utilizzato solo software open-source. Tutte le periferiche, i controller e i sensori sono stati cablati al microcomputer e collegati al servizio DMS utilizzando APIs e una serie di script ad-hoc programmati utilizzando i linguaggi Bash, Python, C e JavaScript. Lo strumento di programmazione Node-RED è stato utilizzato come orchestratore. La componente “smart” del dispositivo era costituita da reti neurali convoluzionali (CNN) sviluppate per assolvere ai seguenti compiti: (i) effettuare la segmentazione semantica dell'immagine del prodotto fresco in ingresso al disidratatore, ossia per “ritagliare” il prodotto dallo sfondo dell'immagine (modello MSS); (ii) la classificazione del prodotto in ingresso.

L'output del modello MSS è stato utilizzato per monitorare i cambiamenti di colore e forma del prodotto (Fig. 14), nonché per lo sviluppo di modelli lineari segmentati (segmented regression, SLM) atti a predire la perdita di acqua nel tessuto dalle semplici foto acquisite durante il monitoraggio in linea. Il modello lineare segmentato ha presentato prestazioni superiori ai modelli su strato sottile (es. Newton-Lewis, Pages, Handerson & Pabis, e modelli logaritmici) in termini di RMSE (< 0.01), BIAS (prossimo a 0), χ^2 ridotto (prossimo a 0) e R^2 (prossimo a 1).

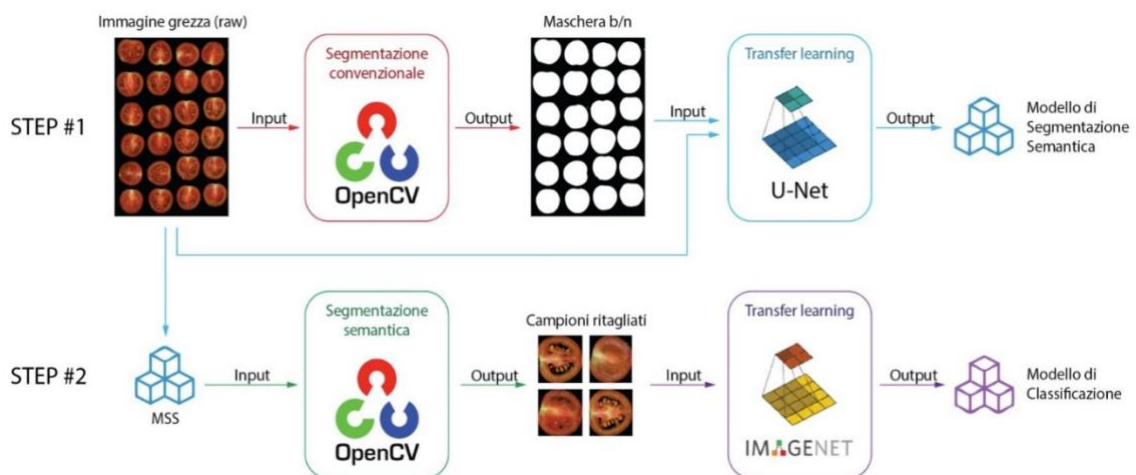


Figura 14. Fasi di acquisizione e processo dei dati di monitoraggio di colore e forma nel corso dell'essiccazione SMART (Moscetti et al., 2020).

Tutti i modelli sviluppati durante la sperimentazione sono stati trasferiti e testati sul minicomputer e ulteriori script, scritti nei linguaggi Python e JavaScript, sono stati incorporati nell'orchestratore (Node-RED) per consentire al MCS di utilizzarli in tempo reale. Il sistema è stato testato e validato su ulteriori campioni per la sua capacità di acquisire, analizzare e condividere i dati in tempo reale attraverso il DMS (Fig. 15).

L'output del modello MC è stato utilizzato per rendere autonomo il disidratatore nella scelta dei parametri di processo più idonei per il prodotto fresco in ingresso.

L'approccio utilizzato rende la configurazione SMART espandibile con modelli previsionali aggiuntivi, che possono essere sviluppati con intenti generici o specifici da prodotto a prodotto. Il setup finale si è dimostrato essere compatibile con il trasferimento in vecchi essiccatori, che devono però essere riadattati per l'inclusione di sensori e telecamere.

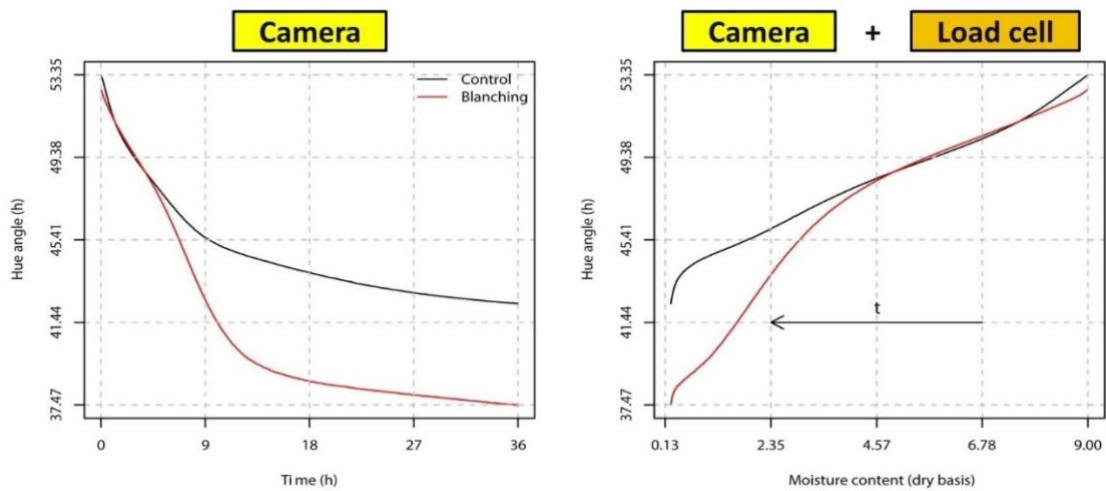


Figura 15. Rilevazione in linea di parametri tecnologici di colore e umidità nel corso del processo di essiccamento (Moschetti et al., 2020).

Genuinità dei prodotti, processi e aspetti nutrizionali

Una delle maggiori problematiche relative alla commercializzazione dei derivati del pomodoro è quella relativa alla provenienza della materia prima e dunque alla genuinità territoriale dei prodotti. Tale tematica è stata affrontata a livello scientifico da Trincherini et al. (2014) in modo da poter verificare la provenienza attraverso un approccio di tracciabilità molecolare mediante la precisa determinazione dei rapporti isotopici dello stronzio tramite Thermal Ionisation Mass Spectrometry (TIMS) per autenticare l'origine geografica del pomodoro (Fig. 16). Tale metodologia si è dimostrata una tecnica analitica "robusta", in quanto ha permesso una precisa discriminazione geografica dell'origine dei prodotti di pomodoro, sia freschi che trasformati, provenienti dall'Italia e dalla Cina. All'interno dei campioni italiani, grazie all'alta precisione e accuratezza di questa tecnica, il metodo è stato in grado di discriminare i prodotti di pomodoro provenienti da suoli di diverse età geologiche.

Questo metodo potrebbe essere utilizzato come strumento vantaggioso per autenticare l'origine del pomodoro sia dei campioni freschi che trasformati provenienti dall'Italia e da Paesi esteri (ad esempio dalla Cina), perché è indipendente dal trattamento industriale a cui è sottoposto il pomodoro e dipende solo dall'età del suolo di coltivazione. Di conseguenza i due distinti "cluster" di popolazione costruiti in questo studio potrebbero essere utili per identificare l'origine geografica certa dei prodotti a base di pomodoro in caso di dubbi sulla dichiarazione commerciale di provenienza.

Questo potrebbe essere importante per contrastare le crescenti importazioni illegali di prodotti a base di pomodoro da paesi in cui non è in vigore la severa legislazione dell'UE. Se, da un lato, questo metodo combatte le frodi commerciali, dall'altro, la sua importanza è particolarmente rilevante per la difesa degli alimenti certificati (IGP e DOP) e per la protezione e la sicurezza della salute dei consumatori.

La tracciabilità molecolare può inoltre essere realizzata attraverso l'applicazione di metodologie di risonanza magnetica nucleare per l'identificazione dell'origine considerando l'analisi multivariata, specialmente per tipologie peculiari di pomodoro, come il ciliegino di Pachino.

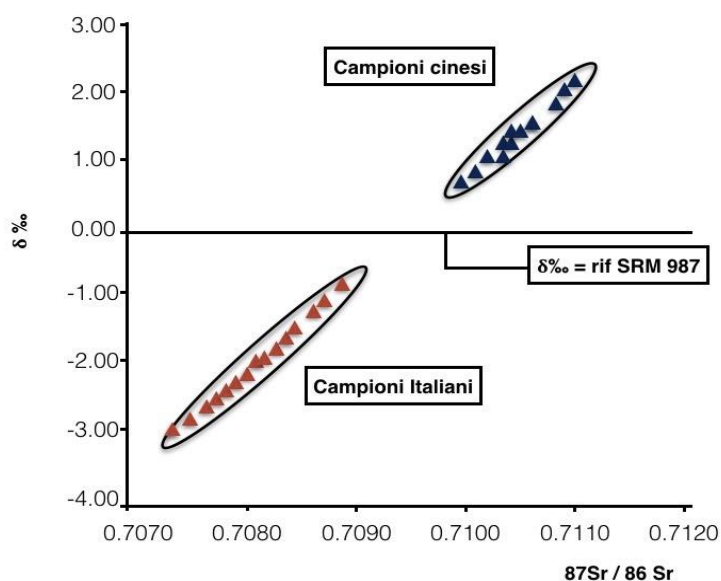


Figura 16. Separazione di campioni italiani e cinesi di passata di pomodoro mediante determinazione dei rapporti isotopici dello Stronzio (modificato da Trincherini et al., 2014)

L'autenticità del pomodoro di Pachino in relazione ad altri pomodori ciliegino italiani è stata studiata da Savorani et al. (2009) utilizzando la Risonanza Magnetica Nucleare ad Alta Risoluzione Protonica (^1H HR NMR) come metodo analitico e la chemiometria come strumento di analisi e interpretazione dei dati multivariati acquisiti.

Grazie alle sue caratteristiche peculiari, dovute alla combinazione di clima, irrigazione con acqua salata e tecniche di coltivazione, il pomodorino italiano di Pachino è stato il primo ad ottenere la certificazione europea di qualità IGP.

I risultati di questa ricerca (Fig. 17) indicano che i pomodori prodotti nella zona di Pachino sono effettivamente diversi, in termini di qualità chimica, da tutti i pomodori non autentici indagati in questo studio, includendo anche quelli prodotti a Licata.

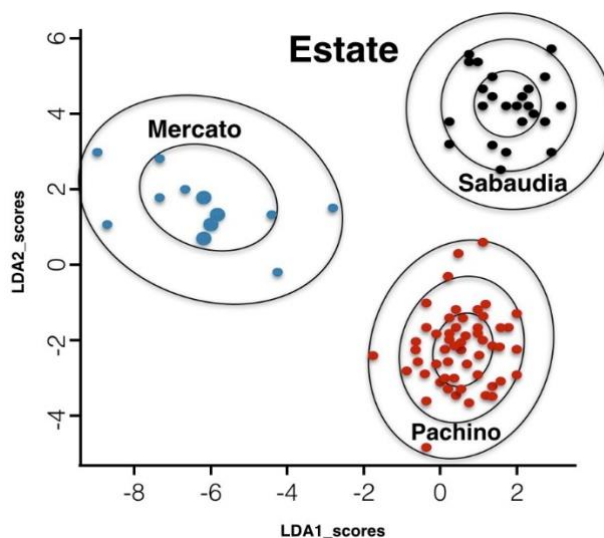


Figura 17. Analisi chemiometrica per la tracciabilità molecolare del pomodoro Pachino (modificato da Savorani et al., 2009)

È degno di nota il fatto che il metodo NMR in combinazione con la chemiometria abbia dimostrato come la qualità della produzione sia diversa a seconda della stagione di raccolta.

Lo studio dell'influenza delle condizioni di essiccamento sul mantenimento del contenuto di licopene nei pomodori sottoposti a essiccamento e osmodisidratazione è stato condotto da Shi e La Maguer (2000, 2001) evidenziando come le temperature di processo influenzino negativamente la ritenzione di licopene (Fig. 18).

I medesimi autori hanno poi considerato le forme isomeriche del licopene, osservando come la degradazione del licopene non solo influisce sul colore attraente dei prodotti finali, ma anche sul loro valore nutritivo per la salute. La causa principale della biodegradazione del licopene nella disidratazione del pomodoro è l'isomerizzazione e l'ossidazione. Si presume ampiamente che il licopene in generale subisca un'isomerizzazione con il trattamento termico. Questa isomerizzazione ha portato alla conversione dei trans-isomeri in cis-isomeri. È stato osservato che erano presenti meno cis-isomeri nei pomodori disidratati osmoticamente rispetto a quelli essiccati direttamente all'aria e sottovuoto. I pomodori, dopo il trattamento osmotico, hanno mostrato una isomerizzazione molto ridotta. Altri metodi di disidratazione, specialmente nell'essiccazione ad aria convenzionale, hanno prodotto una maggiore isomerizzazione (Shi e Le Maguer, 2001).

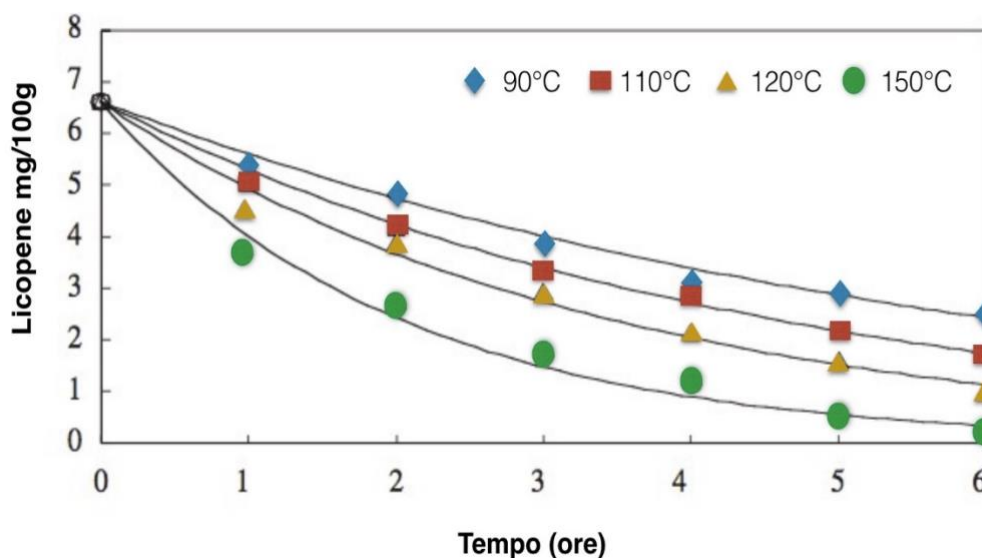


Figura 18. Contenuto in licopene in funzione della temperatura di essiccazione (elaborato da Shi e La Maguer, 2001)

Analogamente, Anese et al. (2002) hanno rivolto l'attenzione alla ritenzione di licopene in derivati di pomodoro sottoposti a trattamento termico di stabilizzazione, in funzione del parametro F_0 , studiando l'effetto dei trattamenti termici equivalenti sul colore e sull'attività antiossidante di passate di pomodoro. In Fig. 19 alcuni dati relativi ai trattamenti termici a differenti temperature ma con medesimo effetto sterilizzante (Valore F equivalente a 11 min a 100 °C con un valore z di 10 °C). In modo simile, l'attività antiossidante *chain-breaking* è risultata maggiore alle temperature inferiori impiegate. A spiegazione di tale risultato è stato ipotizzato che la perdita di antiossidanti naturali del pomodoro, dovuta al processo termico, sia controbilanciata dalla formazione di antiossidanti indotti dal calore (prodotti di imbrunimento non enzimatico). Questi ultimi hanno probabilmente un potere riducente inferiore ma velocità di reazione simili a quelle degli antiossidanti naturali. Pertanto,

da un punto di vista tecnologico, i risultati di tale studio suggeriscono che l'ottimizzazione dei processi basati sul calore per la ritenzione del colore e dell'attività antiossidante dei derivati del pomodoro può essere basata sull'applicazione di processi LTLT (low-temperature, long-time) piuttosto che sui trattamenti HTST (high temperature, short time).

Relativamente ai processi di essiccazione in aria, è generalmente considerato come tali processi siano associati al rischio di danni ossidativi e termici. Nel caso del pomodoro, Lavelli et al. (1999) hanno evidenziato come la maggior parte delle potenziali proprietà antiossidanti siano ancora presenti nel prodotto essiccato all'aria, ad eccezione del contenuto di acido ascorbico e dell'efficacia antiossidante nel sistema xantina/XOD, che è risultato essere il metodo più idoneo per la misurazione dell'attività antiossidante del pomodoro all'interno dei sistemi modello oggetto della sperimentazione.

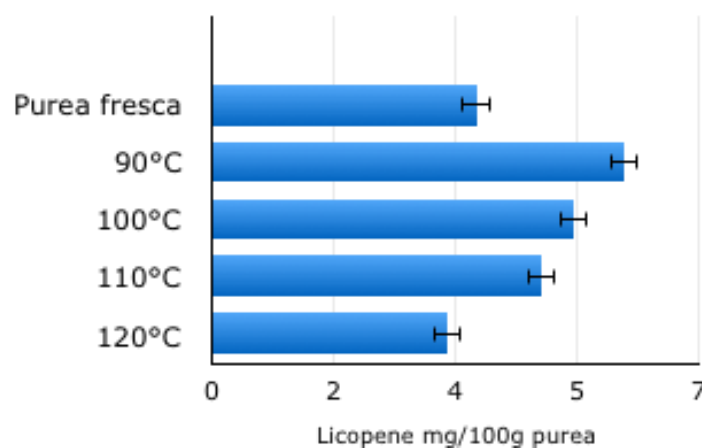


Figura 19. Contenuto in licopene in passate di pomodoro trattate termicamente (elaborato da Anese et al., 2002)

Economia circolare nella filiera del pomodoro: tecnologie innovative per lo sfruttamento dei sottoprodotti

È noto come i sottoprodotti della lavorazione dei derivati del pomodoro siano ancora ricchi di sostanze funzionali sotto l'aspetto sia tecnologico come coloranti, addensanti e fibre sia per gli aspetti nutrizionali/protettivi come licopene e altri carotenoidi e polifenoli. Infatti, il licopene è il pigmento principalmente responsabile del caratteristico colore rosso intenso dei frutti di pomodoro maturi e dei prodotti a base di pomodoro. Ha da tempo attirato l'attenzione per le sue proprietà biologiche e fisico-chimiche, in particolare per i suoi effetti come antiossidante naturale. Anche se non ha attività di provitamina A, il licopene mostra una costante di velocità di estinzione fisica con l'ossigeno singoletto quasi due volte più alta di quella del β -carotene. Questo rende la sua presenza nella dieta di notevole interesse. Una crescente evidenza clinica supporta il ruolo del licopene come micronutriente con importanti benefici per la salute, perché sembra fornire protezione contro una vasta gamma di tumori epiteliali. I pomodori e i relativi prodotti a base di pomodoro sono la principale fonte di composti di licopene, e sono anche considerati un'importante fonte di carotenoidi nella dieta umana (Shi and Le Maguer, 2000). Lo sfruttamento dei residui della pelatura delle bacche di pomodoro o delle fasi di triturazione, cubettatura delle polpe e raffinazione delle passate e succhi di pomodoro, riveste quindi un grande interesse per il recupero del licopene e di altri componenti funzionali. Infatti il licopene è uno dei più popolari pigmenti naturali (rosso) e agente antiossidante accettato dall'industria alimentare e studi in vitro, in vivo ed ex vivo hanno

dimostrato che la sua aggiunta al cibo è inversamente associata a tumori e malattie cardiovascolari. Alcune applicazioni commerciali sono già presenti come il recupero industriale del licopene mediante estrazione sequenziale con un solvente polare e non polare, oggetto di un brevetto (PCT/EP2007/061923) basato sulle evidenze sperimentali di Lavecchia e Zuorro (2007). Considerando che le bucce di pomodoro utilizzate nella sperimentazione avevano un contenuto di licopene di 450 mg per 100 g su base secca, i recuperi percentuali a 1 ora erano di circa 77%, 74% e 98% con esano, acetato di etile o la miscela esano/acetone/etanolo 50:25:25 come solvente. I valori corrispondenti per i campioni non trattati erano rispettivamente 3%, 4,7% e 29% (Lavecchia e Zuorro, 2008). Inoltre, la attuale pandemia del COVID-19 ha aumentato le preoccupazioni dei consumatori sulla salute, in linea di principio, e ha generato opportunità per alimenti funzionali innovativi contenenti composti bioattivi di destinazione, come il licopene (Galanakis, 2017, 2020, 2021). Questo ha aumentato la domanda di processi sostenibili, efficienti e convenienti per una fornitura costante di licopene naturale, come riportato nella review di Serpa Guerra et al. (2021) dove è stato approfondito il contributo dato dai progressi della nanotecnologia nei processi di estrazione. Per la conservazione del licopene, la nanoincapsulazione è emersa come un'alternativa per proteggere e migliorare la sua ritenzione durante la lavorazione degli alimenti. Data la natura oleosolubile del licopene, la nanoincapsulazione basata sui lipidi è stata identificata come il miglior meccanismo per la sua conservazione. Lo sviluppo di nanocapsule, nanodispersioni, nanoliposomi e nanoemulsioni è una buona opzione per migliorare la protezione del licopene. La formulazione di un'emulsione Pickering (a differenza delle emulsioni convenzionali, le emulsioni "pickering" sono stabilizzate da particelle solide, che possono adsorbire irreversibilmente sull'interfaccia olio-acqua per formare un film denso che impedisce l'aggregazione delle goccioline), utilizzando licopene in olio vegetale e nanocellulosa come agente di stabilizzazione, è presentata come un'opzione per sviluppare un'emulsione alimentare che può essere utilizzata durante la formulazione degli alimenti (Serpa Guerra et al., 2021).

Tra le tecnologie emergenti per migliorare l'efficienza dei processi di estrazione è particolarmente interessante l'utilizzo dei campi elettrici pulsati (PEF), specificatamente utilizzati anche nei confronti dell'estrazione del licopene dai residui di processo della lavorazione del pomodoro. Pataro et al. (2018) hanno studiato il miglioramento dell'estraibilità dei carotenoidi dalle bucce di pomodoro come benefici collaterali del trattamento PEF della frutta di pomodoro per una pelatura a vapore più efficiente dal punto di vista energetico.

L'estrazione assistita da PEF di carotenoidi dalle bucce di pomodoro è stata effettuata utilizzando un sistema batch su scala di laboratorio. Esso consisteva in un generatore di potenza pulsata ad alta tensione (20 kV-500 A) (Modulator PG, ScandiNova, Uppsala, Svezia) in grado di generare impulsi monopolarali ad onda quadra (3e25 ms, 1e450 Hz). L'indice di disintegrazione cellulare (ZP) è stato usato, tramite analisi dell'impedenza, per quantificare il grado di permeabilizzazione della membrana cellulare dei tessuti della buccia di pomodoro indotta dai pretrattamenti (con PEF e/o scottatura a vapore) dei frutti di pomodoro interi prima dell'estrazione. L'azione dei trattamenti PEF per l'estrazione è infatti in grado di creare delle interruzioni nelle membrane cellulari anche nel caso della "elettroporazione reversibile" in condizioni relativamente blande sia energetiche sia termiche (Fig. 20).

I risultati di questo studio hanno dimostrato l'efficacia del pre-trattamento dei frutti interi di pomodoro, tipicamente applicato per facilitare la pelabilità del pomodoro, anche sull'estraibilità dei carotenoidi dalle bucce di pomodoro. In particolare, la disintegrazione cellulare indotta a livello cuticolare dal trattamento elettrico e/o termico migliora la penetrazione del solvente nel citoplasma e il successivo trasferimento di massa dei pigmenti

intracellulari solubilizzati, intensificando così l'estraibilità dei composti carotenoidi. Più specificamente, l'applicazione di un trattamento con campo elettrico pulsato (E 1/4 0,5 kV/cm; WT 1/4 1 kJ/kg; T), prima della scottatura a vapore dei frutti di pomodoro a 60 °C, ha mostrato un effetto sinergico nel promuovere la resa di estrazione di carotenoidi totali.

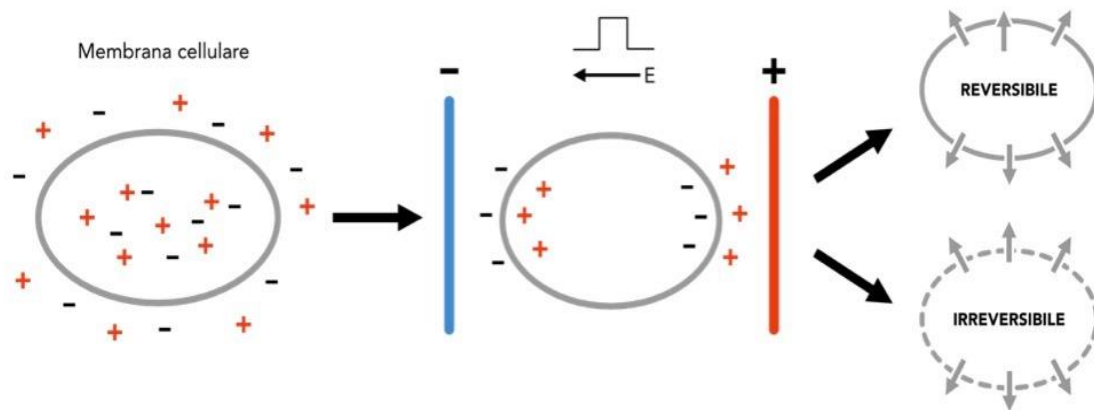


Figura 20. Effetto di elettroporazione reversibile e irreversibile dell'applicazione dei campi elettrici pulsati (PEF)

In Fig. 21 si riporta il contenuto totale di carotenoidi ottenuti dall'estrazione di residui di bucce di pomodoro trattati con PEF a differente potenza.

Le analisi HPLC hanno rivelato che il licopene era il carotenoide predominante negli estratti di buccia, quindi responsabile della loro attività antiossidante. Questo lavoro dimostra il potenziale del pre-trattamento PEF, in combinazione con un blando blanching a vapore, da implementare nella lavorazione industriale per ottenere la valorizzazione dei sottoprodotti della lavorazione del pomodoro (Pataro et al., 2018).

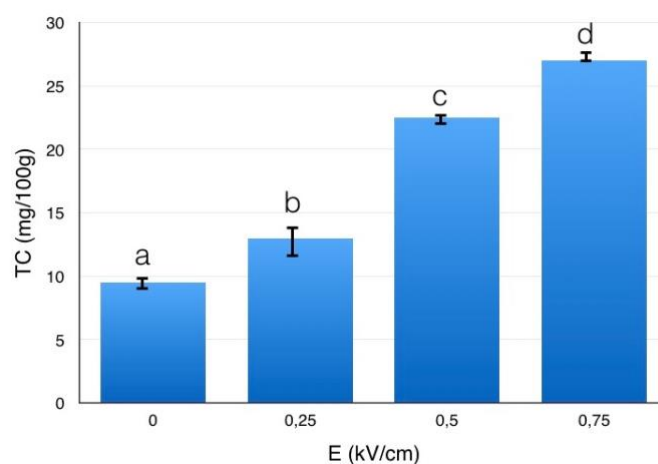


Figura 21. Carotenoidi totali estratti in funzione del trattamento PEF applicato (elaborato da Pataro et al., 2018)

Un'altra interessante strategia di valorizzazione degli scarti di lavorazione del pomodoro, di cui 10-30% è costituito da bucce e semi, è rappresentata dalla sperimentazione di co-frangitura con l'ottenimento di un olio da olive e sottoprodotti del pomodoro da indirizzare direttamente al mercato, condotta dal gruppo di ricerca dell'Università di Bologna coordinato dalla Prof.ssa Gallina Toschi (Gallina Toschi e Bendini, 2016). Nelle bucce, infatti, si trovano maggiormente i carotenoidi, pigmenti liposolubili, con proprietà antiossidanti e di foto-

protezione cellulare. Il riutilizzo di sottoprodotti di lavorazione del pomodoro può essere un modo naturale per arricchire substrati lipidici già preziosi, come l'olio d'oliva, apprezzato in tutto il mondo per le proprietà salutistiche. La sperimentazione condotta a livello industriale è stata il proseguimento della ricerca condotta a livello di impianti pilota oggetto di pubblicazione (Bendini et al., 2015) in cui era stata prevista la possibilità di utilizzare il sottoprodotto industriale del pomodoro (buccia e semi) in co-macinazione con le olive per ottenere un olio vegetale naturalmente ricco di antiossidanti, soprattutto di carotenoidi. In particolare, la presenza di licopene in questo alimento funzionale prende origine dal sottoprodotto del pomodoro grazie al trasferimento di questa molecola lipofila nella matrice lipidica solo attraverso un processo meccanico, diverso dalla macerazione ed evitando l'uso di solventi o sostanze chimiche. Questo nuovo prodotto potrebbe essere commercializzato come "condimento prodotto utilizzando olive e sottoprodotti del pomodoro" o "condimento a base di olio di oliva arricchito in licopene" ed è stata realizzata una produzione pilota con la registrazione di Tolly® (2018) come nome commerciale.

Impatto sugli indicatori e considerazioni sulla intensificazione sostenibile nella filiera

L'analisi dell'impronta ambientale del pomodoro da industria è stata affrontata dal Cluster del Nord Italia nell'ambito di un progetto finanziato dal Programma Life plus della Commissione Europea, denominato PREFER. La metodologia adottata è quella indicata come "Product Environmental Footprint (PEF)" elaborata dalla Commissione Europea in 8 diversi contesti produttivi. Uno di questi è il cluster del pomodoro da industria del Nord Italia, ubicato prevalentemente nelle regioni Emilia-Romagna e Lombardia. Il pomodoro trasformato nell'OI Pomodoro da Industria Nord Italia rappresenta oltre il 50% del pomodoro trasformato italiano e circa il 25% del pomodoro trasformato in Europa. Nel cluster si trasforma per il 98% pomodoro prodotto nel territorio dell'OI dove operano 15 Organizzazioni di Produttori, in rappresentanza di 1.695 aziende agricole 24 aziende di trasformazione che operano in 29 stabilimenti.

Come prodotti rappresentativi del cluster sono stati individuati la passata di pomodoro, la polpa e il concentrato. I risultati riportati non si riferiscono a nessun prodotto o azienda particolare, ma sono la media dei risultati di varie aziende interne al di-stretto e pertanto rappresentano un valore di impatto ambientale dei prodotti medi del distretto.

La filiera dell'OI Pomodoro da Industria del Nord Italia è la prima filiera agroalimentare ad avere calcolato la PEF (Product Environmental Footprint), ovvero l'impronta ambientale di prodotto come intera filiera, lo strumento più innovativo previsto dall'UE per il calcolo dell'impatto sull'ambiente. Sono stati analizzati e valutati ben 14 parametri ambientali (come energia, CO₂, acqua, agrofarmaci...) per la produzione di 1 kg di concentrato, 1 kg di polpa e 1 kg di passata. Le fasi analizzate sono state tutte quelle della filiera: dal seme alla piantina, dalla coltivazione al trasporto dal campo agli stabilimenti di lavorazione, dalla trasformazione sino al packaging e all'utilizzo finale del prodotto.

I valori calcolati nell'ambito del progetto come risultati di impatto ambientale per 1 kg di passata di pomodoro media sono i seguenti: Cambiamento climatico, 1,27 kg CO₂-eq, impoverimento delle risorse idriche 1,32 m³ water-eq, acidificazione 0,009 molc H⁺-eq, eutrofizzazione terrestre 0,02 molc N-eq, uso del suolo 130,8 kg C deficit (Progetto Life Prefer, 2016).

Conclusioni

Nella filiera del pomodoro, affrontata in questo contributo, l'elemento di forza è rappresentato senza dubbio dalla congruità degli accordi interprofessionali che consentono la concertazione periodica del rapporto tra produzione primaria e autori della trasformazione, essendo il pomodoro il principale vegetale destinato alla lavorazione industriale per l'ottenimento di numerose tipologie merceologiche di prodotti trasformati.

Le problematiche agronomiche relative agli aspetti di fertilizzazione, irrigazione e difesa si intrecciano per gli indicatori di intensificazione sostenibile puntando l'attenzione sugli indici di fertilità biologica, sulla valutazione dell'efficienza di utilizzo delle risorse idriche, sulla difesa da nematodi e fitofagi, fino alla illustrazione del "contributo" della genetica agraria nello sviluppo di nuove varietà di pomodoro da industria distinguibili per resistenza alle avversità e per caratteristiche delle bacche destinate alla trasformazione.

In sintesi, considerando l'intera filiera, si può ritenere che gli elementi per l'intensificazione sostenibile del pomodoro da industria siano riferibili ad alcuni elementi essenziali, riportati nella mappa di Fig. 22.



Figura 22. Mappa semplificata degli elementi base per la valutazione della sostenibilità della filiera del pomodoro da industria

Oltre alle tematiche agronomiche e più specificatamente inerenti alla produzione primaria già citate, a livello di industria di trasformazione l'intensificazione sostenibile deve considerare in primo luogo la razionalizzazione dei processi energivori per la riduzione dell'impronta carbonica e il recupero delle acque di processo ed eventualmente l'introduzione di tecnologie "green" e/o non termiche per la stabilizzazione dei prodotti e dei semilavorati con ridotto impatto sugli indicatori di emissioni. In tale ambito il ricorso a tecnologie combinate seguendo il principio della *hurdles technology* può portare a notevoli riduzioni delle necessità energetiche. Inoltre deve essere seguito l'approccio dell'economia circolare con la valorizzazione della notevole quantità di scarti e residui che ancora contengono elementi competitivi di buon valore sia tecnologico (come coloranti) sia funzionali, in primo luogo considerando il licopene ma non solo, in grado di creare elementi con significativo valore aggiunto. In ultimo ma non meno importante la tematica, comune a tutte le filiere di prodotti trasformati, del packaging, in funzione delle necessità che, nella filiera del pomodoro, sono fondamentalmente una lunga shelf-life di prodotti stabili in condizioni ambientali, ma che possono essere minimizzati nel caso di prodotti a umidità intermedia di IV e V gamma.

Ringraziamenti

Si ringrazia Alessandro Natalini, Alessandro Nicolìa, Mario Parisi e Alfonso Pentangelo (CREA Centro di ricerca Orticoltura e Florovivaismo), e Bonaventura Giuliano (ANICAV), per il reperimento delle informazioni relative al "Ruolo della genetica" e per la preparazione delle relative tabelle e figure.

Bibliografia

- Anese, M., Falcone, P., Fogliano, V., Nicoli, M.C., Massini, R. 2002. JOURNAL of FOOD SCIENCE—Vol. 67, Nr. 9, 3442-3446.
- ANICAV. 2020. Il Filo Rosso del Pomodoro - Il valore dei dati. Scenari dal mondo conserviero. Focus 3 dicembre 2020 (<http://www.anicav.it/eventi>)
- Argerich, C.A., Smith P.A., 2019. The effect of rootstock on yield and quality in processing tomatoes. Acta Horticulturae, 1233: 13-18
- Armentano, G., 2018. Strumenti per l'agricoltura digitale. L'Informatore Agrario, 23, 36-48
- Barone, A., Di Matteo, A., Carputo, D., Frusciante, L., 2009. High-Throughput Genomics Enhances Tomato Breeding Efficiency. Current Genomics, 10: 1- 9
- Barone, A., Frusciante, L., 2007 Molecular marker-assisted selection for resistance to pathogens in tomato. In: Guimarães E.P., Ruane J., Scherf B.D., Sonnino A., Dargie J. D. (Eds.) Marker-assisted selection, Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, pp. 151-164
- Bellini, C., 2020. Comunicazione personale
- Bender, S.F., Wagg, C., van der Heijden, M.G.A., 2016. An underground revolution: biodiversity and soil ecological engineering for agricultural sustainability. Trends Ecol. Evol. 31, 440-452
- Bendini, A., Di Lecce, G., Valli, E., Barbieri, S., Tesini, F., Gallina Toschi, T., 2015. Olive oil enriched in lycopene from tomato by-product through a co-milling process, International Journal of Food Sciences and Nutrition, 66:4, 371-377, DOI:10.3109/09637486.2015.1035230
- Benedetti, A., Mocali, S., 2008. Analisi a livello di suolo, in: Indicatori di biodiversità per la Sostenibilità in Agricoltura. Linee guida, strumenti e metodi per la valutazione della qualità degli agroecosistemi. ISPRA, Report 47/2008
- Biondi, A., Guedes, R.N.C., Wan, F.H., Desneux, N., 2018. Ecology, worldwide spread, and management of the invasive South American Tomato Pinworm, Tuta absoluta: past, present, and future. Annual Review of Entomology, 63: 239-258.
- Boroş, L., Fanelli, E., Şesan, T.E., Dobrin, I., Iacomì, B., De Luca, F., 2018. Detection and characterization of root-knot nematodes (*Meloidogyne* spp.) associated with three host plants in Romania. Romanian Biotechnological Letters, 23: 14097-14106
- Botti, G., 2021. Concentrazione di tipo RMV per prodotti a base pomodoro. in Atti Sostenibilità "green" dei processi agroalimentari, sostenibilità ed efficientamento dei processi dell'industria alimentare. Evento Value Chain Primpack & Inquan, Clust-ER Agrifood Agroalimentare, 13 Dicembre 2021
- Brodhagen, M., Peyron, M., Miles, C., Inglis, D.A., 2015. Biodegradable plastic agricultural mulches and key features of microbial degradation. Appl Microbiol Biotechnol., 99(3):1039-56. doi: 10.1007/s00253-014-6267-5.
- Buono, V., Gatta, G., Riezzo, E., Carucci, F., Giuliani, M.M., 2021. Experimental testing of a model-based decision support system integrated with smart sensors to optimize irrigation strategies for processing tomato: A case study in southern Italy. Acta Horticulturae, 1311, pp. 485-492
- Campos, M.R., Biondi, A., Adiga, A., Guedes, R.N.C., Desneux, N., 2017. From the Western Palaearctic region to beyond: Tuta absoluta 10 years after invading Europe. Journal of Pest Science. 90: 787-796.
- Caponero, A., 2021. Infestanti del pomodoro, l'Orobanche tiene banco. Terra e Vita, 17/2021: 53
- Cardi, T., Batelli G., Nicolìa A., 2017. Opportunities for genome editing in vegetable crops. Emerging Topics in Life Sciences, 1: 193-207.
- Cavallo, M.C., Tiso, R., Colla, R., Mazzoni, E., 2019. Strategie innovative per la lotta al ragnetto rosso. L'Informatore Agrario: 10-13.
- Conversa G., Bonasia A., Elia A., 2017 Chemical control of branched broomrape in processing tomato using sulfonyleureas in Southern Italy. Italian Journal of Agronomy; volume 12:939
- Derossi, A., De Pilli, T., Severini, C., 2007. Innovazione di processo per la produzione di pomodori semi-dry: trattamento combinato essiccamento-acidificazione. Industria Conserve, vol. 82(2), p. 145-150, ISSN: 0019-7483.
- Derossi, A., La Penna, M.P., De Pilli, T., Severini, C., 2010. Studio sul trattamento di disidratazione osmotica sottovuoto applicato a spicchi di pomodoro. Industrie Alimentari, vol. 49(10), p. 11-17, ISSN: 0019-901X.
- Derossi, A., Severini, C., Del Mastro, A., De Pilli, T., 2015. Study and optimization of osmotic dehydration of cherry tomatoes in complex solution by response surface methodology and desirability approach. LWT – Food Science and Technology, Vol. 60 (2): 641-648. DOI: 10.1016/j.lwt.2014.10.056.
- Dilly, O., Pompili L., Benedetti, A., 2018. Soil micro-biological indicators separated land use practices in contrast to abiotic soil properties at the 50 km scale under summer warm Mediterranean climate in northern Italy. Ecol. Indic. 84, 298-303
- Disciglio, G., Carlucci, A., Tarantino, A., Giuliani, M.M., Gagliardi, A., Frabboni, L., Libutti, A., Raimondo, M.L., Lops, F., Gatta, G., 2018. Effect of Olive-Mill Wastewater Application, Organo-Mineral Fertilization, and Transplanting Date on the Control of *Phelipanche ramosa* in Open-Field Processing Tomato Crops. Agronomy, 8, 92; doi:10.3390/agronomy8060092
- Duso, C., Castagnoli, M., Simoni, S., Angeli, G., 2010. The impact of eriophyoids on crops: recent issues on *Aculus schlechtendali*, *Calepitrimerus vitis* and *Aculops lycopersici*. Experimental and Applied Acarology, 51: 151-168
- El-Halmouch, Y., Benharrat, H., Thalouarn, P., 2006. Effect of root exudates from different tomato genotypes on broomrape (*O. aegyptiaca*) seed germination and tubercle development. Crop Protection, 25: 501-507
- EPPO (European and Mediterranean Plant Protection Organization), 2014. EPPO data sheets on quarantine pests. EPPO Bulletin, 44: 159-163
- Francaviglia, R., Renzi, G., Ledda, L., Benedetti, A., 2017. Organic carbon pools and soil biological fertility are affected by land use intensity in Mediterranean ecosystems of Sardinia, Italy. Sci. Total Environ. 599-600, 789-796
- Galanakis, C.M., 2020. The food systems in the era of the coronavirus (COVID-19) pandemic crisis. Foods, 9(4), 523. <https://doi.org/10.3390/foods9040523>

- Galanakis, C.M., 2021. Functionality of food components and emerging technologies. *Foods*, 10(1), 1-26. <https://doi.org/10.3390/foods10010128>
- Galanakis, C.M., 2017. Food waste recovery & innovation, FoodInnova, Cesena, February 2017.
- Gallina Toschi, G., Bendini, A., 2016. Food Crossing District, La ricerca nel Piatto, FoodInnova, Cesena, Italy. (<https://site.unibo.it/foodcrossingdistrict/it/news/foodinnova>)
- Giacometti, C., Cavani, L., Baldoni, G., Ciavatta, C., Marzadori, C., Kandeler, E., 2014. Microplate-scale fluorimetric soil enzyme assay as a tool to assess soil quality in a long-term agricultural field experiment. *Applied Soil Ecology* (75), 80-85
- Giacometti, C., Demyan, M.S., Cavani, L., Marzadori, C., Ciavatta, C., Kandeler, E., 2013. Chemical and microbiological soil quality indicators and their potential to differentiate fertilization regimes in temperate agroecosystems. *Appl. Soil Ecol.* 64, 32-48. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2012.10.002>
- Giovannini, C., Garcia Mina, J.M., Ciavatta, C., Marzadori, C., 2013. Effect of organic-complexed superphosphates on microbial biomass and microbial activity of soil. *Biol Fert Soil*, 49:395-401
- Giuliani, M.M., Gatta, G., Cappelli, G., Mongiano, G., Bregaglio, S., 2019. Identifying the most promising agronomic adaptation strategies for the tomato growing systems in Southern Italy via simulation modeling. *European Journal of Agronomy*, 111, 125937
- Glas, J.J., Alba, J.M., Simoni, S., Villarroel, C.A., Stoops, M., Schimmel, B.C.J., Schuurink, R.C., Sabelis, M.W., Kant, M.R., 2014. Defense suppression benefits herbivores that have a monopoly on their feeding site but can backfire within natural communities. *BMC Biology*, 12: 98.
- Guedes, R.N.C., Roditakis, E., Campos, M.R., Haddi, K., Bielza, P., Siqueira, H.A.A., Tsagkarakou, A., Vontas, J., Nauen, R., 2019. Insecticide resistance in the tomato pinworm *Tuta absoluta*: patterns, spread, mechanisms, management and outlook. *Journal of Pest Science*, 92: 1329-1342
- Jones, J.T., Haegeman A., Danchin, E.G.J., Gaur, H.S., Helder, J., Jones, M.G.K., Kikuchi, T., Manzanilla-López, R., Palomares-Rius, J.E., Wesemael, W.M.L. et al., 2013. Top 10 plant-parasitic nematodes in molecular plant pathology. *Molecular Plant Pathology*, 14: 946-961
- Kaloshian, I., Yaghoobi, J., Liharska, T., Hontelez, J., Hanson, D., Hogan, P., Jesse, T., Wijbrandi, J., Simons, G., Vos, G. et al., 1998. Genetic and physical localization of the root-knot nematode resistance locus *Mi* in tomato. *Molecular and general Genetics*, 257: 376-385
- Kyrikou, I., Briassoulis, D., 2007. Biodegradation of agricultural plastic films: A critical review. *J. Polym. Environ.* 15, 125-150. <https://doi.org/10.1007/s10924-007-0053-8>
- Lavecchia, R., Zuorro A., 2007. Brevetto PCT/EP2007/061923
- Lavecchia, R., Zuorro, A., 2008. Improved lycopene extraction from tomato peels using cell-wall degrading enzymes. *European Food Research and Technology*, 228(1), 153-158. <https://doi.org/10.1007/s00217-008-0897-8>
- Lavelli, V., Hippeli, S., Peri, C., Elstner, E.F., 1999. Evaluation of Radical Scavenging Activity of Fresh and Air-Dried Tomatoes by Three Model Reactions. *J. Agric. Food Chem.* 47, 3826-3831
- Lorenz, K., Lal, R., 2016. Chapter Three - Environmental Impact of Organic Agriculture. *Advances in Agronomy* 139, 99-152
- Lucas, N., Bienaime, C., Belloy, C., Queneudec, M., Silvestre, F., Nava-Saucedo, J.E., 2008. Polymer biodegradation: Mechanisms and estimation techniques - A review. *Chemosphere* 73, 429-442. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2008.06.064>
- Monarca, D., 2020. Comunicazione personale.
- Marzadori, C., et al., 2021. Comunicazione personale.
- Moore-Kucera, J., Cox, S.B., Peyron, M., Bailes, G., Kinloch, K., Karich, K., Miles, C., Inglis, D.A., Brodhagen, M., 2014. Native soil fungi associated with compostable plastics in three contrasting agricultural settings. *Appl. Microbiol. Biotechnol.* 98, 6467-6485. <https://doi.org/10.1007/s00253-014-5711-x>
- Moscetti, R., Nallan Chakravartula, S.S., Bandiera, A., Bedini, G., Massantini, R., 2020. Computer Vision Technology for Quality Monitoring in Smart Drying System. 2020 IEEE International Workshop on Metrology for Agriculture and Forestry, MetroAgriFor 2020 - Proceedings, pp 134-138
- Nicol, J.M., Turner, S.J., Coyne, D.L., Den Nijs, L., Hockland, S., Maafi, Z.T., 2011. Current nematode threats to world agriculture. In: Jones, J.T., Gheysen, G. & Fenoll, C. (Eds). *Genomics and molecular genetics of plant-nematode interactions*. Heidelberg, Germany, Springer, pp. 21-44
- Nicolia, A., Cucurullo, A., Contaldi, F., Navarro Garcia, A., Festa, G., Camerlengo, F., Facchiano, A., Scafuri, B., D'Agostino, N., Rigano, M., Vurro, M., Cardi, T., 2021. Approcci genetici innovativi per il controllo di orobanche in pomodoro. XIII Giornate Scientifiche SOI, Catania, 22 e 23 giugno 2021. *Acta Italus Hortus*, 26: 23
- Patato, G., Carullo, G., Bakar Siddique, Md.A., Falcone, M., Donsi, F., Ferrari, G., 2018. Improved extractability of carotenoids from tomato peels as sidebenefits of PEF treatment of tomato fruit for more energy-efficient steam-assisted peeling. *Journal of Food Engineering*, 233, 65-73. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2018.03.029>
- Pfaff, A., Gabriel, D., Böckmann, E., 2020. Mitespotting: approaches for *Aculops lycopersici* monitoring in tomato cultivation. *Experimental and Applied Acarology*, 80: 1-15
- Phani, V., Khan, M.R., Dutta, T.K., 2021. Plant-parasitic nematodes as a potential threat to protected agriculture: Current status and management options. *Crop Protection*, 144: 105573-105594
- Powers, T.O., Harris, T.S., 1993. A polymerase chain reaction method for identification of five major *Meloidogyne* spp. *Journal of Nematology*, 25: 6
- Progetto Life Prefer. (2016). <http://www.lifeprefer.it/it-it/progetto/news/id/1054>; <https://oipomodoronorditalia.it/sostenibilita/>
- Qasern, J.R., Kasrawi, M.A., 1995. Variation of resistance to broomrape (*Orobanche ramosa*) in tomatoes. *Euphytica*, 81: 109-114
- Renzi, G., Canfora, L., Salvati, L., Benedetti, A., 2017. Validation of the soil biological fertility index (BFI) using a multidimensional statistical approach: A country-scale exercise. *Catena* 149, 294-299
- Rick, C.M., Chetelat, R.T., 1995. Utilization of related wild species for tomato improvement. *Acta Horticulturae*, 412: 21-38
- Roditakis, E., Vasakis, E., Grispuou, M., Stavrakaki, M., Nauen, R., Gravouil, M., Bassi, A., 2015. First report of *Tuta absoluta* resistance to diamide insecticides. *Journal of Pest Science*, 88: 9-16
- Sasanelli, N., Konrat, A., Migunova, V., Toderas, I., Iurcu-Straistaru, E., Rusu, S., Bivol, A., Andoni, C., Veronico, P., 2021. Review on Control Methods against Plant Parasitic Nematodes Applied in Southern Member States (C Zone) of the European Union. *Agriculture*, 11: 602. <https://doi.org/10.3390/agriculture11070602>
- Savorani, F., Capozzi, F., Balling Engelsen, S., Dell'Abate, M.T., Sequi P., 2009. Pomodoro di Pachino: An Authentication Study Using ¹H-NMR and Chemometrics – Protecting its P.G.I. European Certification, in *Magnetic Resonance in Food Science: Challenges in a Changing World* (pp.158-166) Publisher: The Royal Society of Chemistry Editors: M. Guðjónsdóttir, P.S. Belton, G.A. Webb

- Seid, A., Fininsa, C., Mekete, T., Decraemer, W., Wesemael, W.M.L., 2015. Tomato (*Solanum lycopersicum*) and root-knot nematodes (*Meloidogyne* spp.) – a century-old battle. *Nematology*, 17: 995-1009
- Serpa Guerra, A., Gomez Hoyos, C., Molina-Ramírez, C., Velasquez-Cock, J., Velez, L., Ganan, P., Eceiza, A., Goff, H.D., Zuluaga, R., 2021. Extraction and preservation of lycopene: A review of the advancements offered by the value chain of nanotechnology, *Trends in Food Science & Technology* 116, 1120-1140
- Severini, C., 2008. Progetto “Messa a punto e ottimizzazione di un processo innovativo per la produzione e la stabilizzazione microbiologica di derivati di pomodoro semi-dry”, finanziato dalla Regione Puglia (Progetto Esplorativo - PES).
- Shi, J., Le Maguer, M., 2000. Lycopene in Tomatoes: Chemical and Physical Properties Affected by Food Processing, *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 40(1):1-42
- Shi, J., Le Maguer, M., 2001. Stability of Lycopene in Tomato Dehydration, in *Osmotic Dehydration & Vacuum Impregnation*, Technomic Publishing Company, Inc., Eds. Pedro Fito, Amparo Chiralt, Jose M. Barat, Walter E. L. Spiess, Diana Behnslian, 3, p. 12
- Siscaro, G., Biondi, A., Haddi, K., Rapisarda, C., Tropea Garzia, G., Lucia, Z., 2012. Orientamenti di lotta integrata per il contenimento di Tuta absoluta (Meyrick) in Italia. *Atti Accademia Nazionale Italiana di Entomologia*, LX: 111-124.
- Steinmetz, Z., Wollmann, C., Schaefer, M., Buchmann, C., David, J., Tröger, J., Muñoz, K., Frör, O., Schaumann, G.E., 2016. Plastic mulching in agriculture. Trading short-term agronomic benefits for long-term soil degradation? *Sci. Total Environ.* 550, 690-705. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.01.153>
- Tagliavini, M., Ronchi, B., Grignani, C., Corona, P., Tognetti, R., Dalla Rosa, M., Sambo, P., Gerbi, V., Pezzotti, M., Marangon, F., Marchetti, M., 2019. Intensificazione sostenibile: strumento per lo sviluppo dell'agricoltura italiana - La posizione dell'Associazione Italiana delle Società Scientifiche Agrarie (AISSA). *Società di Ortofrutticoltura Italiana (SOI)*. pp. 72
- Tanksley, S.D., McCouch, S.R., 1997. Seed Banks and Molecular Maps: Unlocking Genetic Potential from the Wild. *Science*, 277: 1063-1066
- Tirello, P., Pozzebon, A., Cassanelli, S., Van Leeuwen, T., Duso, C., 2012. Resistance to acaricides in Italian strains of *Tetranychus urticae*: toxicological and enzymatic assays. *Experimental and Applied Acarology* 57: 53-64
- Tolly, <https://magazine.unibo.it/archivio/2018/09/03/ecco-tolly-un-nuovo-condimento-alimentare-sviluppato-dall2019universita-di-bologna>
- Trincherini, P.R., Baffi, C., Barbero, P., Pizzoglio, E., Spalla, S. 2014. Precise determination of strontium isotope ratios by TIMS to authenticate tomato geographical origin, *Food Chemistry* 145, 349-355
- Tripodi, P., Campanelli, G., Diez, M.J., Sestili, S., Palma, D., Dattoli, M.A., Soler, S., Prohens, J., Cardi, T., 2021. L'analisi della diversità genetica e fenotipica di germoplasma di pomodoro coltivato in condizioni di agricoltura biologica rivela nuove regioni genomiche alla base di caratteristiche produttive, qualità dei frutti e architettura delle radici. XIII Giornate Scientifiche SOI, Catania, 22 e 23 giugno 2021. *Acta Italus Hortus*, 26: 51
- Ventrella et al., 2017. Regional assessment of green and blue water consumption for tomato cultivated in Southern Italy. *The Journal of Agricultural Science* <https://doi.org/10.1017/S0021859617000831>
- Vervaeet, L., De Vis, R., De Clercq, P., Van Leeuwen, T., 2021. Is the emerging mite pest *Aculops lycopersici* controllable? Global and genome-based insights in its biology and management. *Pest Management Science*, 77: 2635-2644.
- Vittori Antisari, L., Ferronato, C., De Feudis, M., Natali, C., Bianchini, G., Falsone, G., 2021. Soil biochemical indicators and biological fertility in agricultural soils: a case study from Northern Italy. *Minerals* 11, 219. <https://doi.org/10.3390/min11020219>
- Xia, X., Cheng, X., Li, R., Yao, J., Li, Z., Cheng, Y., 2021. Advances in application of genome editing in tomato and recent development of genome editing technology. *Theoretical and Applied Genetics*, 134: 2727-2747
- Xue, W., Snoeck, S., Njiru, C., Inak, E., Dermauw, W., Van Leeuwen, T., 2020. Geographical distribution and molecular insights into abamectin and milbemectin cross-resistance in European field populations of *Tetranychus urticae*. *Pest Management Science*, 76: 2569-2581.