

## Intensificazione sostenibile nella filiera vite-vino

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

<sup>1</sup>Dipartimento di Scienze Agrarie ed Ambientali, Università di Milano

<sup>2</sup>Dipartimento di Scienze Agrarie, Forestali e Alimentari, Università di Torino

<sup>3</sup>Dipartimento di Scienze e Tecnologie Agroalimentari, Università di Bologna

<sup>4</sup>CNR-ISAFOM, Portici, Napoli

<sup>5</sup>Dipartimento of Food, Environmental and Nutritional Sciences, Università di Milano

<sup>6</sup>Libera Università di Bolzano

<sup>7</sup>Dipartimento di Agraria, Università degli Studi di Sassari

<sup>8</sup>Dipartimento di Scienze e Tecnologie Biologiche e Ambientali, Università del Salento

<sup>9</sup>Dipartimento di Scienze Agrarie, Alimentari e Agro-ambientali, Università di Pisa

<sup>10</sup>Dipartimento di Scienze Agrarie e Forestali, Università della Tuscia, Viterbo

<sup>12</sup>Facoltà di Economia, Universitas Mercatorum, Roma

<sup>13</sup>Dipartimento di Scienze Agrarie, Alimentari ed Ambientali, Università Politecnica delle Marche

<sup>14</sup>Dipartimento di Biotecnologie, Università di Verona

<sup>15</sup>Scienze 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.

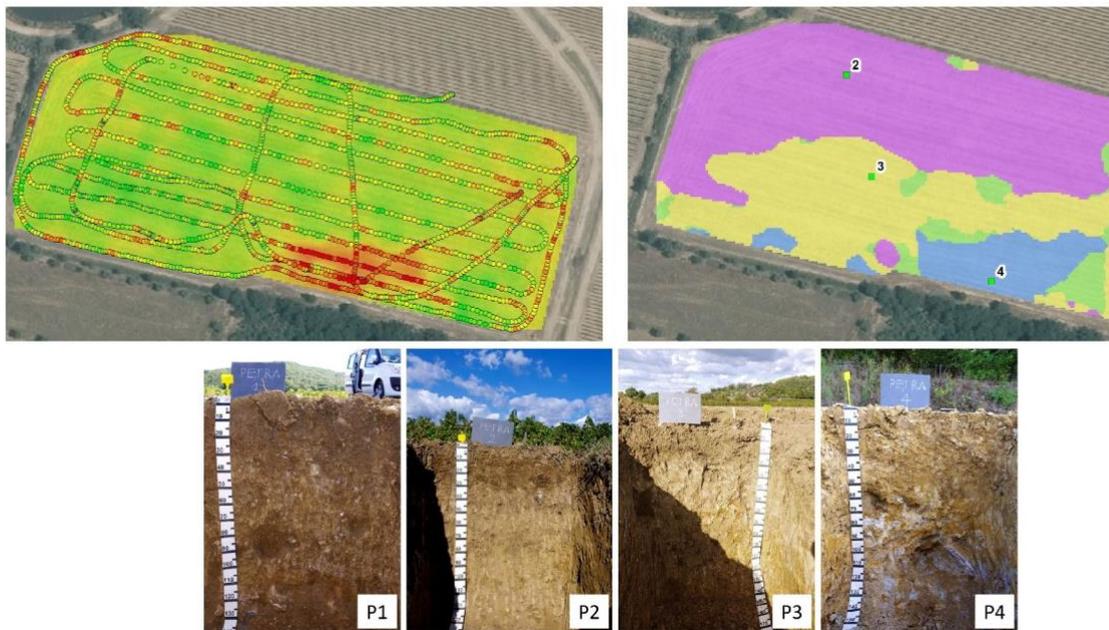
La viticoltura ha generalmente un forte impatto sulle funzioni ecosistemiche del suolo per vari motivi, sia legati alla natura del vigneto che alle scelte agronomiche. Spesso i vigneti sono presenti in morfologie di versante, quindi soggette ad erosione, e su suoli marginali, sottili e poco fertili. 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).



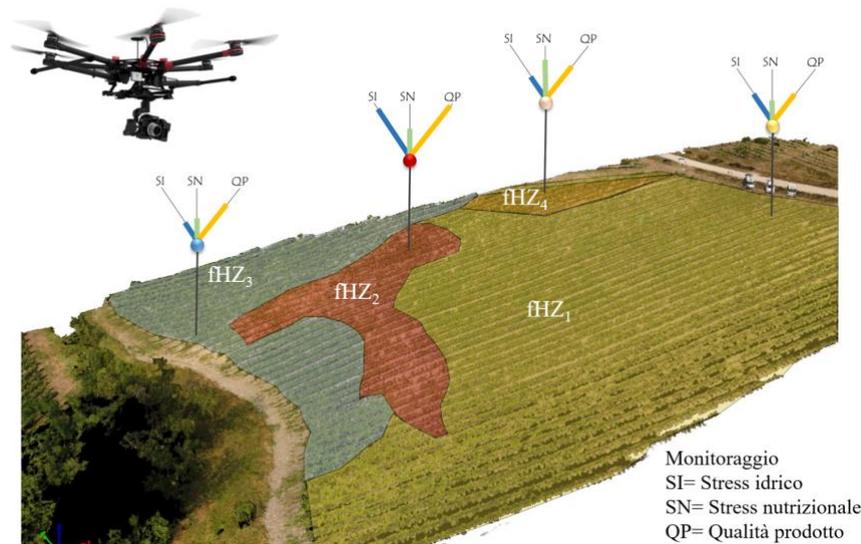
**Figura 1.** Rilevamento con sensore ad induzione elettromagnetica nelle fasi pre-impianto di un nuovo vigneto, con interpolazione dei dati per ottenere la carta di ECa. A destra, mappatura dei suoli ad alto dettaglio ottenuta da una clusterizzazione delle carte di ECa. In basso i quattro profili descritti 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).



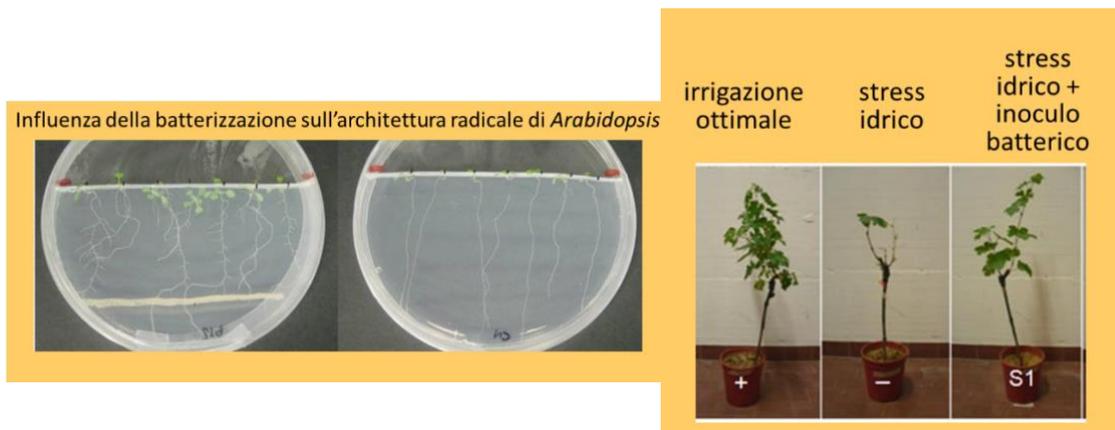
**Figura 2.** Identificazione delle zone omogenee (HZs) espressi in termini di omogeneità dei caratteri intrinseci del vigneto (es. suolo, pendenza, esposizione ecc.) e relativa definizione delle aree funzionali omogenee (fHZs) sulla base delle risposte colturali attese (Bonfante et al., 2015, 2017;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

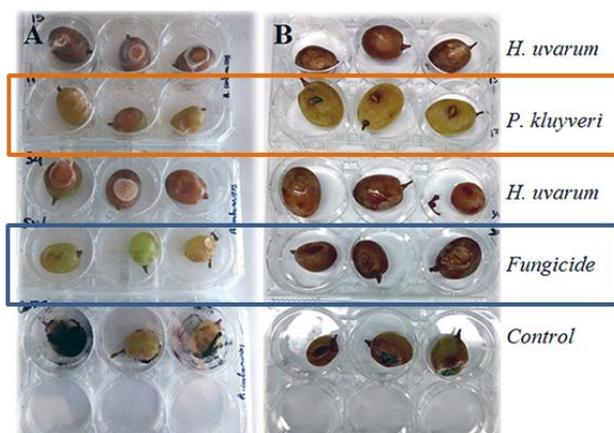
Questo fa sì che pianta e plant microbiome costituiscano un meta-organismo dove entrambi partecipano alla performance, fitness ed ecologia dell'olobionte. Questa interazione viene quindi studiata al fine di isolare e selezionare ceppi microbici coinvolti nella promozione della crescita, nell'aumento 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. carbonarius* (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. *sylvestris*, 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.

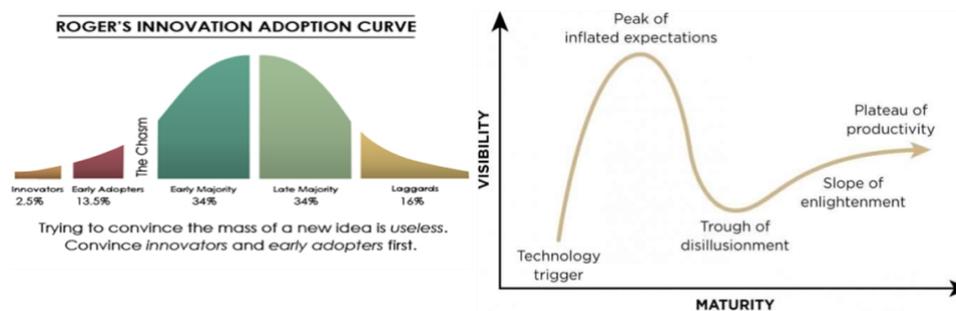
Molti strumenti e macchine innovative sono stati sviluppati negli ultimi due decenni per migliorare la qualità globale del processo di produzione con attenzione alla riduzione degli input, alla conservazione della fertilità del suolo, al miglioramento dell'efficienza produttiva. Si sono sviluppati parimenti 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.

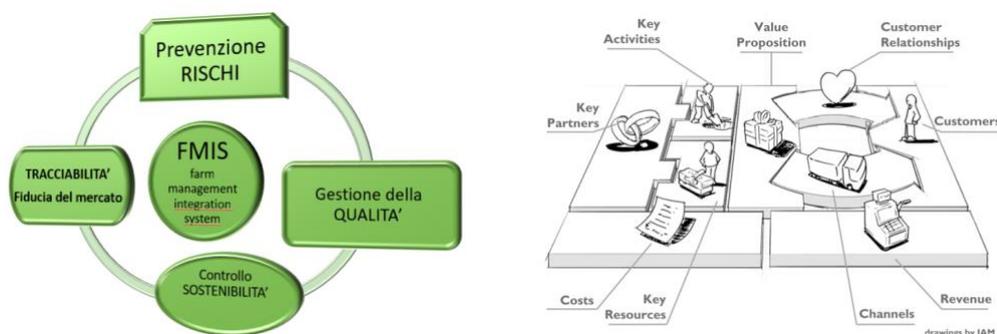
Il ricorso ampio alla digitalizzazione è riconosciuto come valore aggiunto, come si evidenzia nel caso della mitigazione dei rischi dovuti a patologie o eventi climatici, soprattutto nella filiera viticola dove centraline e DSS (Decision Support System, Sistemi a Supporto delle Decisioni) sono ormai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

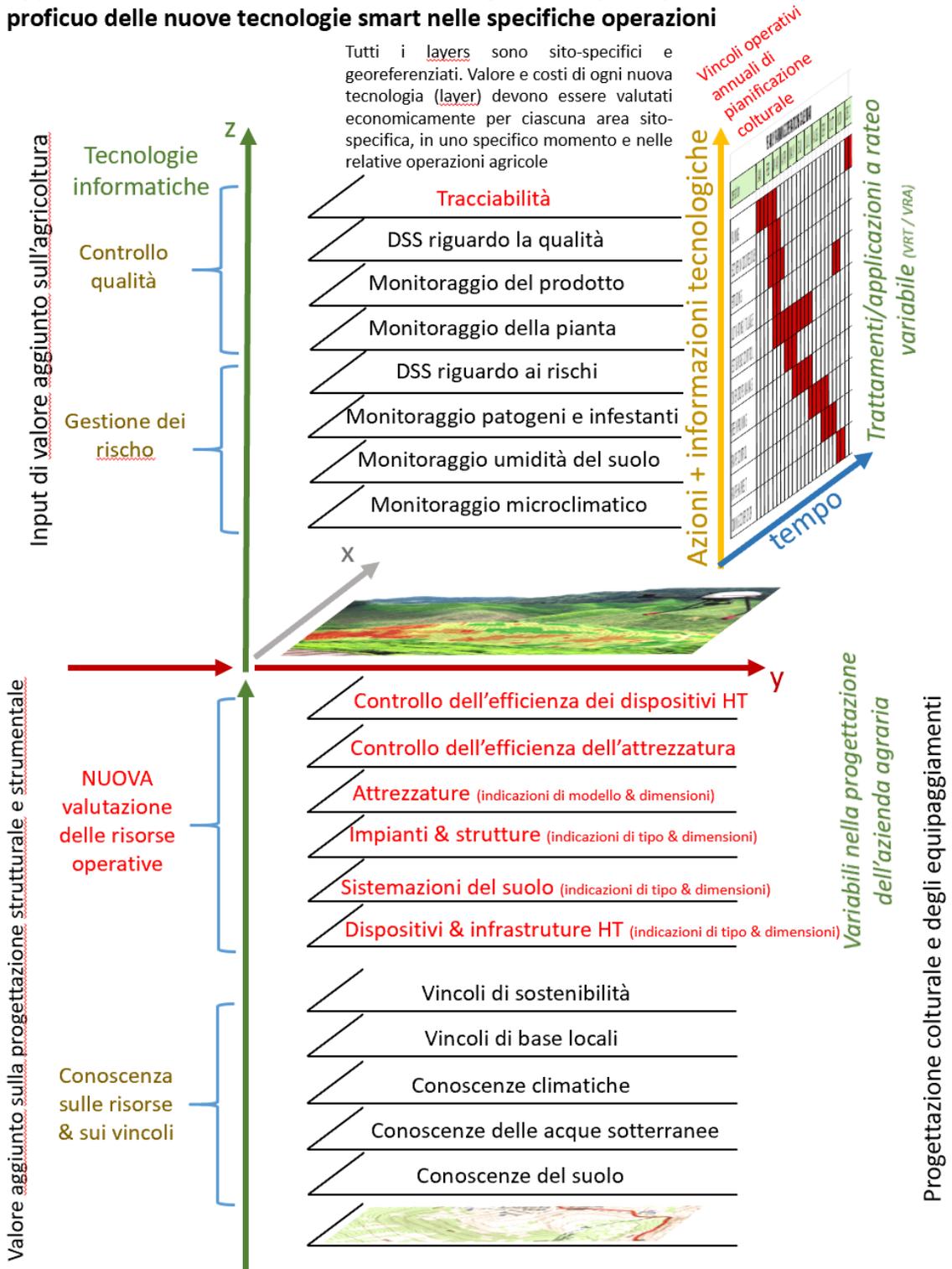
valore aggiunto, come il miglioramento dell'uso di acqua, aria, suolo, sicurezza e benessere, riduzioni, dispersioni e costi. Questo è avvalorato dal recentissimo documento della Commissione Europea sul Green Deal, "List of potential agricultural practices that eco-schemes could support", che costituisce 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](http://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  $\Delta$ 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 m<sup>2</sup> 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 (SO<sub>2</sub>, 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 SO<sub>2</sub> 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.

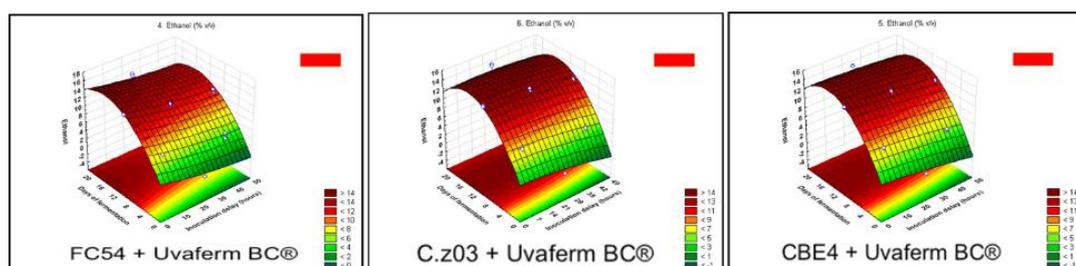
### Il contributo della microbiologia

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.

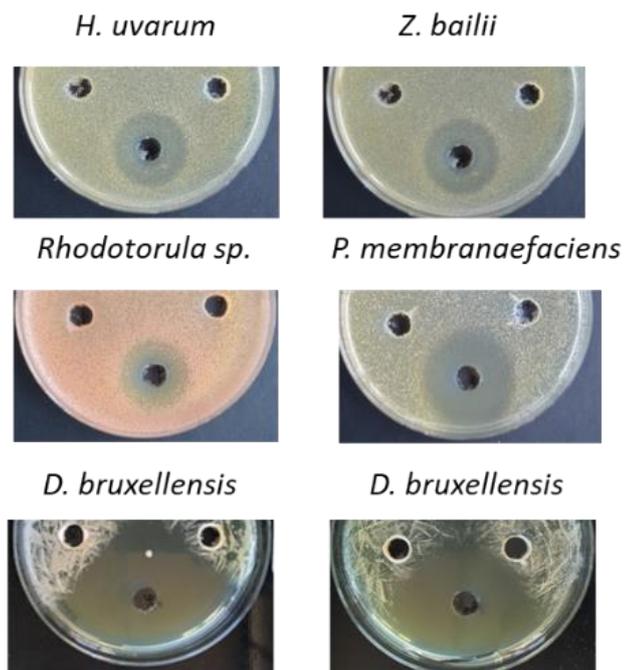
In questo panorama, l'uso dei lieviti non-*Saccharomyces* si propone come una valida strategia per una efficiente riduzione del tenore alcolico nei vini, contrastare la diminuzione di acidità e fungere da donatori di determinanti genici (proteine killer) utili al biocontrollo delle fermentazioni.

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 SO<sub>2</sub> (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

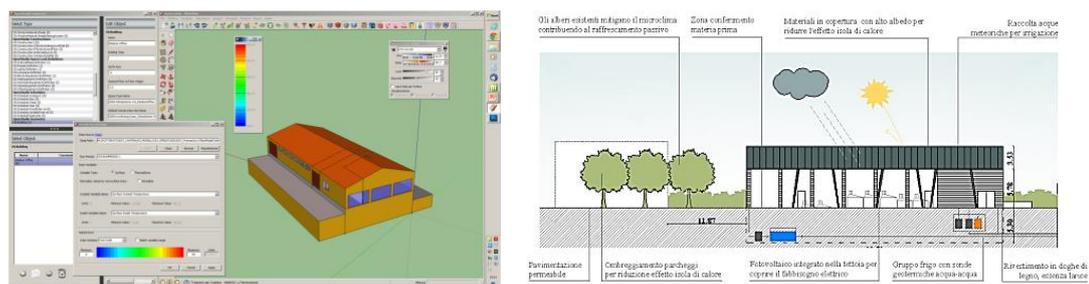
### Sostenibilità ambientale e qualità paesaggistica di strutture e infrastrutture del comparto vitivinicolo

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 CO<sub>2</sub> 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.agry.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](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/tpj.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., Ricauca 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., Sivilotti 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 SO<sub>2</sub> 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.



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*