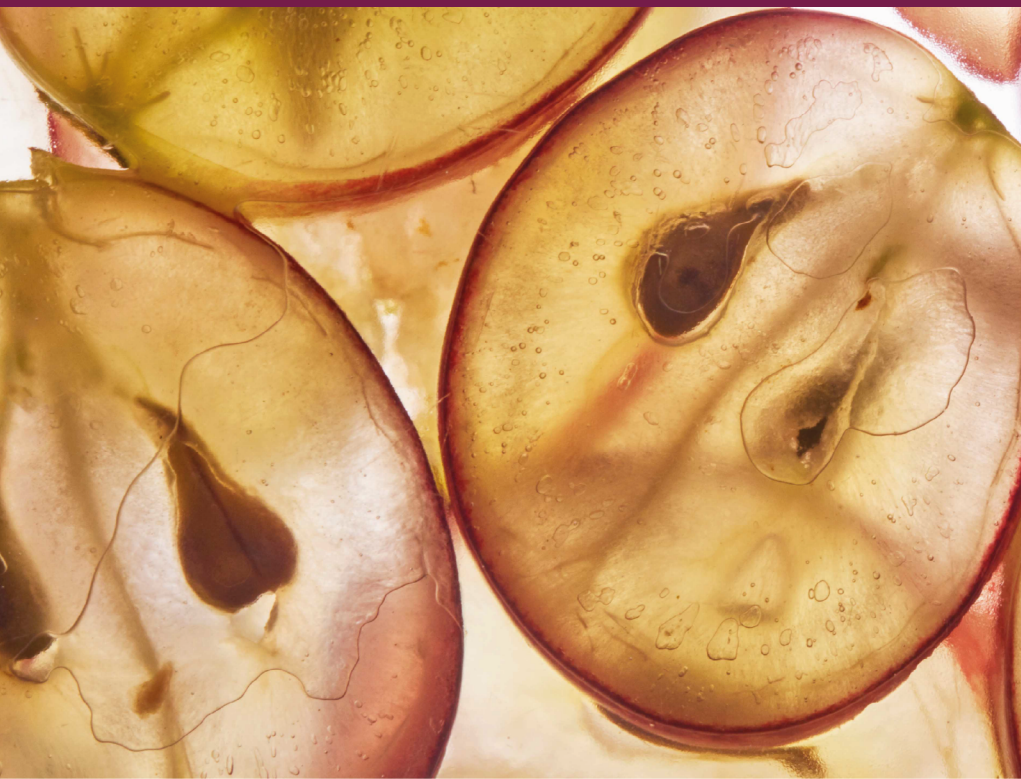


# Sanguis Jovis I Quaderni

## Maturazione e maturità del Sangiovese *La ricerca di un equilibrio tra viticoltura ed enologia*

a cura di  
Roberto Miravalle



**fondazione  
banfi**



*Sanguis Jovis*  
I Quaderni

© 2023

*Sanguis Jovis*

I Quaderni

Numero 6

*Maturazione e maturità del Sangiovese*

*La ricerca di un equilibrio tra viticoltura ed enologia*

a cura di Roberto Miravalle

© 2023 **Fondazione Banfi**

Castello di Poggio Alle Mura

53024 Montalcino – Siena Italy

Presidente Fondazione Banfi

Rodolfo Maralli

Presidente Comitato Scientifico Fondazione Banfi

Elizabeth Koenig

Direttore Editoriale

Alessandro Regoli

Project Manager *Sanguis Jovis* – I Quaderni

Luca Devigili

Coordinatrice *Sanguis Jovis*

Chiara Naso

Registrazione Tribunale di Siena:

Autorizzazione n°1 del 3 Gennaio 2019.

Ean 9788894997057

[www.fondazionebanfi.it](http://www.fondazionebanfi.it)

Progetto esecutivo a cura di

PRINGO srl

[www.pringo.it](http://www.pringo.it)



**fondazione banfi**

**SANGUIS JOVIS**

ALTA SCUOLA DEL SANGIOVESE

*Sanguis Jovis*

I Quaderni

# **MATURAZIONE E MATURITÀ DEL SANGIOVESE**

*La ricerca di un equilibrio tra viticoltura ed enologia*

**a cura di Roberto Miravalle**



**fondazione  
banfi**



**AMORIM**  
Amorim Cork Italia Sp.A



**Podere Forte**  
Cantagione d'Orcia - Italia



Associazione Italiana Sommelier  
**TOSCANA**



**fondazione  
bertarelli**



**verallia**



**Rotary**  
Siena



**veronafiere**  
vinitaly



**Confagricoltura**

**Montalcino  
NEWS**



**VCR**  
VINI COOPERATIVI  
SAUCIACO  
*L'immagine in movimento*

**a&elle  
ASSOCIATI  
CONSULTING**



**OCRA**  
www.ocra.it



**publifarm**  
pure creative agency



**ASSENLOGI**



**Cerved**

**JOB DV / Studio**

**TECNOVITE**  
VINOLO COLTIVIO CANTINA

**IM\*MEDIA**

**OFFICINAGRAFICA**

**mia**  
Management Improvement Accounting

# Indice

## Introduzione

- La maturità dell'uva, dove si decide la qualità del vino** 10  
*di Attilio Scienza, Presidente Sanguis Jovis*
- La cultura contro l'incertezza e la crisi** 21  
*di Alberto Mattiacci*

## Parte prima: fisiologia della maturazione

- Valutazione della maturità dell'uva** 26  
*di Attilio Scienza, Presidente Sanguis Jovis*
- Aspetti fisiologici e biochimici dei processi di sviluppo e maturazione delle bacche** 57  
*di Osvaldo Failla*
- La maturazione delle bacche d'uva: reti regolative associate a processi endogeni e fattori ambientali** 70  
*di Claudio Bonghi*
- Modelli previsionali nella fenologia della vite e in particolare nella maturazione** 97  
*di Luigi Mariani*

## Parte seconda: la maturazione del Sangiovese

- Sistemi di allevamento del Sangiovese in Toscana** 124  
*di Claudio d'Onofrio*
- Maturazione delle bacche clima** 143  
*di Giovanni Battista Mattii*

<b>Aspetti innovativi della tecnica colturale per valorizzare la risposta del vitigno all'ambiente</b>	164
<i>di Alberto Palliotti</i>	
<b>Il ruolo dei portainnesti nella maturazione</b>	208
<i>di Roberto Miravalle</i>	
<b>Sangiovese: cloni e maturazione</b>	224
<i>di Paolo Storchi</i>	
<b>Parte terza: la valutazione della maturazione</b>	
<b>Valutazione della variabilità nella maturazione del vigneto</b>	240
<i>di Luca Toninato</i>	
<b>L'analisi sensoriale delle uve</b>	249
<i>di Giuliano Boni</i>	
<b>Parte quarta: l'interfaccia uva-vino</b>	
<b>La maturazione fenologica e aromatica: i polifenoli ed i precursori d'aroma</b>	264
<i>di Fulvio Mattivi</i>	
<b>Maturità e composizione dell'uva Sangiovese</b>	290
<i>di Donato Lanati</i>	
<b>Il significato della maturità nella selezione delle uve e nei processi di fermentazione</b>	309
<i>di Vincenzo Gerbi</i>	
<b>Parte quinta: il ruolo dell'evoluzione nel legno</b>	
<b>La barrique come reattore nei processi di evoluzione del Sangiovese e l'impiego di materiali succedanei e surrogati</b>	334
<i>di Alessandra Biondi Bartolini</i>	
<b>La scelta dei legni, loro lavorazione ed influenza sui processi di invecchiamento di un vino rosso</b>	340
<i>di Franco Battistuta</i>	
<b>Vino e legno: tendenze, evoluzione e prospettive</b>	351
<i>di Alessandra Biondi Bartolini</i>	



**Il legno che nobilita il vino**  
*di Gabriele Pazzaglia*

361



# Introduzione

## La maturità dell’uva, dove si decide la qualità del vino

*di Attilio Scienza, Presidente Sanguis Jovis*

*“Ho udito 30 cattive ragioni per  
raccogliere l’uva alla data sbagliata”.*

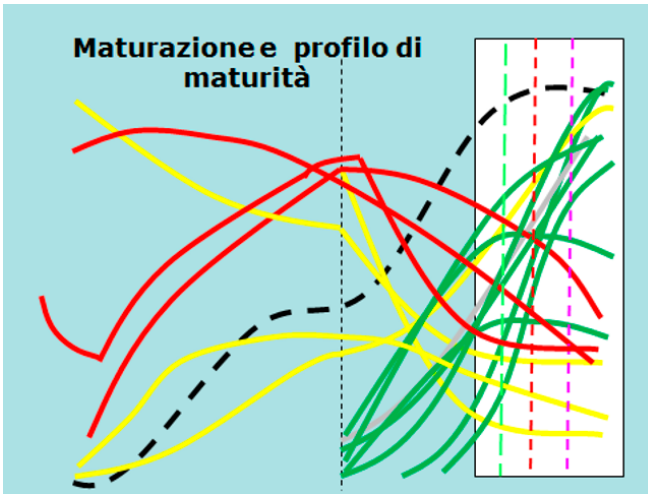
*Emile Peynaud (1912-2004)*

### **Premessa**

Questa affermazione di uno dei padri dell’enologia europea nasce dalla constatazione che molto spesso chi decide di vendemmiare, lo fa per motivi difficili da comprendere e non sempre a ragion veduta. È l’ardito compromesso tra l’incognita delle condizioni climatiche, il rischio del danno delle malattie parassitarie, gli aspetti della logistica (mano d’opera, disponibilità della vendemmiatrice) e per tanti motivi che spesso nulla hanno a che vedere con la maturità dell’uva. La maturazione è una sindrome fisiologica, intendendo con questa definizione una serie di processi che hanno uno sviluppo temporalmente consequenziale e da una serie di processi che dal punto di vista temporale sono paralleli. (Fig.1)

Figura 1

Attraverso gli andamenti delle curve di accumulo (e di degradazione) dei vari metaboliti della bacca si può intuire la grande complessità dei processi di maturazione che si concludono con la maturità della bacca (Failla, comunicazione personale)



Per comprendere cosa avviene in una bacca che sta per maturare si deve pensare alle basi della fisica quantistica. Nella fisica classica lo scienziato doveva solo ritrovare l'armonia dell'universo e trascriverla nelle sue leggi secondo il principio deterministico di causa/effetto. Ma l'universo non era quel tutto armonico che Platone aveva immaginato, bensì qualcosa di imprevedibile e casuale, disarmonico e paradossale. A questo punto entra in gioco la fisica quantistica con i suoi risultati strabilianti. La maturazione dell'uva è un sistema complesso, come lo sono alcuni fenomeni fisici, biologici o sociali e come ogni sistema, è composto di numerosi elementi ciascuno dotato di una pro-

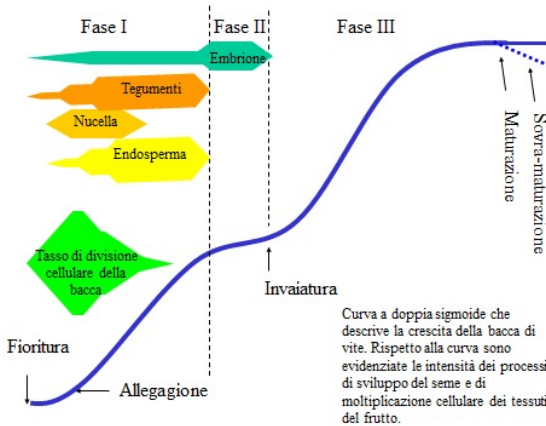
pria finalità. Non è detto che si possano controllare questi elementi, né la loro trasformazione e neppure il passaggio spesso veloce da uno stato ad un altro, perché è un sistema disordinato, costituito da atomi o molecole che possono combinarsi in un numero elevato di relazioni sotto l'effetto di fattori genetico - ambientali che sfuggono in gran parte al controllo dell'uomo. La meccanica statistica potrebbe formulare predizioni probabilistiche per calcolare non il comportamento di un singolo composto dell'uva ma il suo comportamento in relazione agli altri componenti del sistema. È la fisica della complessità che consente di rendere comprensibili i rapporti tra complessità e disordine, quel disordine che permette al sistema di arrivare all'ordine, che significa maturità ottimale, perfetta.

### **Maturazione e maturità**

Con il termine maturità si definisce il momento finale dello sviluppo della bacca che inizia con l'evoluzione delle infiorescenze nella gemma ibernante, prosegue con il germogliamento e si completa con la fioritura. Rappresenta, dal punto di vista enologico, il momento nel quale i grappoli vengono staccati dalla pianta, nel quale tutti i parametri della qualità sono presenti nella bacca in modo ottimale a seconda dell'obiettivo che si vuole perseguire, una scelta definitiva ai fini del successo o meno di un vino. La maturazione è invece il periodo che va dall'invaiaitura alla maturità. (Fig.2).

Figura 2

Curva di sviluppo della bacca a doppia sigmoide dove vengono evidenziate le fasi di divisione e distensione cellulare delle varie parti della bacca (Failla, comunicazione personale)



In termini generali è il momento in cui cessa la divisione cellulare ed inizia con l'invaiatura, la distensione delle cellule. A livello ontogenetico coincide con l'invecchiamento fisiologico dell'organo, una condizione necessaria affinché la bacca divenga sede di fenomeni di accumulo. Maturazione e maturità sono due espressioni che vengono usate indifferentemente ma che hanno un significato molto diverso. La maturazione identifica un processo, in divenire e la sua durata dipende essenzialmente da meccanismi interni alla pianta ed è quindi una caratteristica varietale. Le condizioni ambientali influiscono sulla composizione del mosto ma poco sulla velocità del processo. In particolare, è la sommatoria delle temperature attive ( $>10\text{ }^{\circ}\text{C}$ )

ad essere correlata positivamente con il titolo zuccherino delle uve e rappresenta un indice efficace per valutare le potenzialità fotosintetiche dell'ambiente in relazione alle esigenze termiche delle varietà e all'obiettivo enologico. Questa constatazione può apparire a prima vista paradossale ma diviene comprensibile se si pensa che la radiazione luminosa di un ambiente non è mai un fattore limitante in quanto la disponibilità di fotoni per la fotosintesi è sempre eccedente rispetto alle esigenze. Per questo motivo gli indici bioclimatici (Winkler, Huglin, etc.) si basano essenzialmente sulle sommatorie delle temperature attive. La risposta dello stadio fenologico alla temperatura non è lineare e varia tra le cultivar. Con il cambio climatico l'intervallo tra germogliamento e la fine fioritura ha mostrato un significativo accorciamento suggerendo che l'anticipo della maturità dell'uva sia soprattutto in relazione all'aumento della temperatura nel periodo primaverile. La carenza idrica ha invece effetti importanti sulla maturità quando si manifesta nel periodo tra la fioritura e l'invaiaatura.

### **Le diverse maturità dell'uva**

La *maturità fisiologica* è relativa alla maturità dei vinaccioli (si realizza all'invaiaatura).

La *maturità viticola* è la capacità della vite di assicurare una buona maturazione all'uva. Di norma è legata all'efficienza fogliare.

La *maturità enologica* è quella che permette di fare il migliore vino possibile in funzione del *terroir*, dell'annata e dell'obiettivo enologico, che privilegia quindi o l'acidità, o il colore, o l'aroma, o gli zuccheri, etc.

La *maturità fenolica* definisce il livello di accumulo di alcuni composti fenolici quali gli antociani ed i tannini (in



termini strutturali, di polimerizzazione e della loro localizzazione nei semi e nelle bucce). La loro estraibilità dalle cellule è molto variabile secondo le varietà, del *terroir*, le annate ed è influenzata in modo decisivo dalle condizioni di campionamento e dalle tecniche di dosaggio. Per i polifenoli totali e gli antociani è possibile un'analisi abbastanza rapida. Per i tannini è preferibile quella sensoriale per apprezzare i tannini dolci, i più evoluti. L'analisi degli antociani permette di differenziare con maggiore precisione le parcelle apparentemente simili per acidità e zuccheri in quanto se questi hanno scarti del 10-20%, gli antociani hanno scarti anche del 50%.

*La maturità aromatica* rappresenta il momento di massimo tenore in terpeni nor-isoprenoidi ed in alcuni vitigni (es. Sauvignon o i Cabernets) delle metossipirazine (MP). In tutti i vitigni corrisponde ad una riduzione di composti di gusto erbaceo (composti in C-6). Le difficoltà di una determinazione chimica precisa possono essere in parte superate con l'analisi sensoriale delle bacche, soprattutto per evitare il gusto vegetale.

*La maturità fenologica* si riferisce alle fasi fenologiche del ciclo annuale. I periodi fioritura-invaiatura, invaiatura-maturazione, fioritura-maturazione variano poco tra gli anni e tra i *terroir* perché sono delle costanti varietali. Questa costanza può essere usata per la stima della data ottimale di raccolta attraverso dei modelli previsionali che tengono conto del ruolo della temperatura.

*La maturità tecnologica* è rappresentata dalla massima concentrazione in zuccheri e da un livello ottimale di acidità a seconda dell'obiettivo enologico.

*La maturità mediatica* è rappresentata dalle notizie che vengono date dalla stampa su dichiarazioni spesso senza un fondamento oggettivo di tecnici o associazioni di ca-

tegoria relativamente alle date probabili della vendemmia o della qualità dell'annata. Spesso sono un'occasione per feste vendemmiali o per parlare di una zona viticola o di un'azienda.

### **La valutazione della maturità: i criteri di ieri ed i progressi nella ricerca**

Nelle *Opere e i Giorni*, Esiodo raccomandava per la Beozia, regione a clima freddo della Grecia centrale, di raccogliere l'uva quando cadevano le foglie. In passato negli ambienti settentrionali, il successo di un vino e la sua conservabilità erano il risultato di una maturazione avanzata che garantiva un grado alcolico elevato. In greco e nell'esegesi biblica la parola *makrothumia* definisce il tempo dell'attesa, un'attesa impaziente, quasi una perseveranza, che ci può far comprendere lo stato d'animo non solo dei viticoltori della Beozia, ma anche quello dei viticoltori odierni all'avvicinarsi del tempo della vendemmia.

Virgilio nelle *Georgiche* ammoniva così il viticoltore “... *sii l'ultimo a vendemmiare per raggiungere la maturazione perfetta*”, precetto che era condiviso dalla cultura viticola italiana dell'800 e del primo '900, come testimoniano i testi coevi di viticoltura piemontesi e veneti, nei quali per favorire la maturazione e massimizzare il contenuto di zucchero, il parametro più importante per la viticoltura d'allora, si consigliava la sfogliatura prevendemmia, la torsione del rachide o il taglio precoce del tralcio. Significativa ed attuale è un'espressione contenuta nelle *Geoponiche* (V,43, Costantinopoli, I sec), che affermava che il modo migliore per conoscere il tempo della vendemmia non è quello di guardare il grappolo, ma di gustarne il sapore. Colpisce a questo proposito la risposta di D. Dubourdieu,

(2012), compianto professore di enologia all'Università di Bordeaux, alla domanda di cosa fosse la maturità enologica dell'uva: ... "disponiamo di numerosi parametri analitici, zuccheri, pH, acidità totale, polifenoli, etc. ma la decisione finale di vendemmiare viene presa dopo aver assaggiato l'uva". Per molto tempo nella viticoltura continentale, almeno fino alle soglie del 1800, l'epoca della vendemmia era fissata dalle autorità locali e religiose attraverso i bandi vendemmiali per evitare raccolte troppo precoci e per avere il controllo sulle "decime ". Il primo impiego di un aerometro (o densimetro) per determinare il titolo zuccherino dell'uva (strumento scoperto da A-L. Lavoisier nel 1779 per la valutazione della qualità del salnitro usato nella fabbricazione della polvere da sparo), risale alla seconda metà dell'800 (Guyot, 1861, Babo, 1869) e coincide con un periodo di grandi scoperte nel campo della chimica e della microbiologia enologica. Ne danno testimonianza Pasteur con il libro *Etude sur le vin* pubblicato a Parigi nel 1866 e Babo e Mach con *Handbuch des Weinbaues und der Kellerwirtschaft*, pubblicato a Berlino nel 1881 (Figg. 3,4).

**Figura 3**

**Attrezzatura per estrarre il mosto dalle bacche per la valutazione del titolo zuccherino, a corredo del densimetro (Collezione Museo Guado al Melo, Bolgheri)**



**Figura 4**

**Densimetro di von Babo originale (1876)**



Vennero così proposti alcuni indici, cosiddetti di maturazione, attraverso il calcolo del rapporto zuccheri/acidi (De Cillis 1895 per l'Italia, Winkler 1930, per California e Sud Africa, Godet 1935 per Germania e Svizzera), dove la determinazione degli zuccheri era fatta rispettivamente con i gradi Babo, Balling e Oechsle. Il primo rifrattometro Zeiss è del 1937. Ci si chiede quando divenne fondamentale disporre di strumenti di analisi capaci di valutare la maturità dell'uva.

La viticoltura che nasce con la ricostruzione post fillosERICA e che viene definita moderna, rivoluziona l'assetto produttivo di una coltura che era rimasto praticamente inalterato dal Medioevo. Non è solo l'innesto o la coltivazione specializzata intensiva, a fare la differenza, ma soprattutto la separazione dell'attività agricola della produzione dell'uva da quella enologica della trasformazione in vino. Non è più il viticoltore che vinifica le sue uve soprattutto per l'autoconsumo e che si accontenta di un'uva della quale non conosce le caratteristiche compositive, ma è l'enologo che applica i metodi dell'industria delle bevande e che ha bisogno di precisi parametri analitici per intervenire.

L'accelerazione nello sviluppo delle tecniche enologiche è la conseguenza di molte innovazioni portate dalla prima guerra mondiale (la filtrazione su cartoni, l'acciaio inox, le pompe centrifughe, i motori, prima a vapore e poi elettrici, etc.) che consentono una migliore valorizzazione dell'uva partendo dalla conoscenza della materia prima. Il contributo scientifico dei Paesi viticoli europei è stato determinante nella definizione dei processi, mentre i centri di ricerca del Nuovo Mondo hanno portato i maggiori progressi nelle tecniche analitiche (cromatografia liquida, in fase gassosa, spettrometria, etc.) che a partire dagli anni 70 del secolo scorso, attraverso una sorta di fertilizzazio-

ne incrociata con l'industria delle bevande alcoliche e dei succhi. Non vanno peraltro dimenticati i contributi recenti nella conoscenza dei meccanismi biochimici e fisiologici che presiedono alle sintesi nella bacca, gli studi di ecofisiologia e di genomica applicata. La necessità di metodologie rapide e precise di valutazione della maturità sia in laboratorio che in campo hanno favorito l'applicazione di nuove tecniche analitiche, spesso provenienti da altri settori dell'agroalimentare o della chimica organica. La spettroscopia nel visibile (VIS), dell'infrarosso vicino (NEAR) e dell'infrarosso medio (MIR) sono quelle che hanno trovato le maggiori applicazioni pratiche con strumentazioni di facile utilizzo in campagna. Nel campo delle tecniche non invasive si utilizzano anche la fluorescenza e la fotoluminescenza e per il monitoraggio dei composti volatili, il naso elettronico (EN).

# La cultura contro l'incertezza e la crisi

*di Alberto Mattiacci*

La vita aziendale è fatta di incertezze.

Non importa la dimensione -se si sia una grande conglomerata globale, o una piccola realtà familiare fortemente radicata nel territorio; non importa la potenza economico-finanziaria dell'azienda, né la reputazione e notorietà delle produzioni realizzate. Tutte le aziende sono sottoposte all'incertezza, quel che cambia è solo la sua qualità, dove cioè poniamo il punto interrogativo

- come andranno le vendite della prossima vendemmia?
- riuscirò a farmi finanziare il mio progetto di reimpianto?
- l'agronomo che ho assunto sarà capace di aiutarmi?

Insomma, l'incertezza è trasversale a ogni singolo filone d'attività dell'azienda: produzione, mercato, amministrazione, risorse umane, eccetera. Il tema, perciò, non è se il futuro sia incerto o meno (lo è), ma se e in che misura, siamo in grado di confrontarci attivamente e razionalmente con questa incertezza. **Questo è un primo problema.**

**Ne abbiamo anche un altro.** Viviamo, infatti, tempi straordinari, nei quali il cambiamento sembra essere un fatto pervasivo, che concerne ogni cosa. Spesso il cambiamento si manifesta nella forma di crisi enormi, esterne alla nostra sfera di controllo e imprevedibili -spesso, addirittura, al limite del non comprensibile: le guerre in Europa e

in Medio Oriente, l'inflazione, la denatalità, la deglobalizzazione, l'estremizzazione dei fenomeni climatici, eccetera.

Queste crisi richiedono prudenza, certo ma anche - guardando appena più in là del proprio naso - impongono di considerare la possibilità di modificare i comportamenti - sia quelli personali, che i processi aziendali:

### **“Abbiamo fatto sempre così e funziona”**

è infatti una tipica frase che ogni imprenditore vitivinicolo accorto dovrebbe bandire dal proprio fraseggio.

La lingua italiana offre una grande varietà di parole per identificare una situazione che è “norma” nella Storia dell’Uomo -ma che l’Uomo stesso tende a considerare come “eccezione” quando se ne sente investito. Questo è il cambiamento. La Tabella 1 ne riporta le declinazioni possibili nella nostra lingua.

**Tabella 1**  
**Le parole del cambiamento**

alterazione	peggioramento
capovolgimento	ribaltamento
dinamica	rinnovamento
dinamismo	riforma
evoluzione	rivolgimento
innovazione	rivoluzione
metamorfosi	tramutazione
miglioramento	trasfigurazione
modifica	trasformazione
mutamento	variazione

**Fonte: Treccani (2021) [www.treccani.it](http://www.treccani.it)**



Perché tante parole per significare un solo concetto? A un economista, la cui mente è naturalmente attenta all'efficiente uso delle risorse, in questo caso linguistiche, tutto ciò potrà apparire come un infelice rapporto sforzo/beneficio. Sbaglierebbe, però.

**Il cambiamento è infatti un fenomeno dalla grande varianza intrinseca:**

- ha molte qualità (può essere radicale, continuo, discontinuo);
- determina effetti differenti sulla morfologia della realtà (può rappresentare una *trasformazione* o anche solo un *adeguamento* alle condizioni spazio/tempo contingenti);
- possiede un certo spettro d'intensità (dall'alterazione alla rivoluzione);
- vede la presenza di molti attori: protagonisti, antagonisti e comparse.

Insomma, al cambiamento ben si confà quell'aggettivo - "complesso" - che popola i discorsi di molti, da almeno un trentennio in qua. È una cosa complessa e complicata, fluida e multiforme che perciò non può ridurre il pensiero dentro una sola parola: ne servono molte, con molte sfumature.

**Incertezza, necessità di cambiamento, coraggio di affrontarlo**, sono perciò le grandi sfide che questo primo quarto di XXI secolo pone alla mente di tutti: imprenditori, manager, tecnici, professionisti della filiera e dei mercati del vino. Non ci sono regole, ricette, trucchi e nemmeno scorciatoie, per affrontarlo positivamente. Non abbiamo altra scelta che provare, fare e vedere come va.

Abbiamo però un alleato, anzi, un'alleata: la cultura.

**“La cultura non è una cosa ma un modo di vedere (e fare) le cose”.**

Credo che questa frase si debba ad Angelo Guglielmi, un uomo di televisione che fu fra gli ideatori e gli artefici di una vera rivoluzione (di successo) di prodotto, nei palinsesti Rai di circa trent'anni fa.

**Cultura è ciò che ci aiuta e aiuterà a compiere le scelte migliori, nei tempi giusti e con il giusto approccio.**

Produrla però è un lavoro lento: richiede tempo a individuare, raccogliere, assorbire e metabolizzare idee, concetti, esperienze e tradurli in comportamenti nuovi.

In questa prospettiva positiva, salutiamo la pubblicazione di questo sesto Quaderno Sanguis Jovis, un ulteriore piccolo passo compiuto verso la generazione di una cultura del fare vino, capace di aiutarci a vincere la sfida dei tempi.

Auguri di buona fortuna a tutti noi.

**Parte prima**  
**Fisiologia della maturazione**

## La valutazione della maturità dell'uva

*di Attilio Scienza*

La maturazione ottimale non può essere individuata solo dalla composizione chimica del mosto ma piuttosto dall'equilibrio di tutti gli aspetti della pianta che la regolano, dai cambiamenti fisiologici / biochimici (nelle foglie e nell'uva), dai cambiamenti fisici (struttura della chioma e dimensione del grappolo e dell'acino) e dallo stile del vino richiesto dal mercato. I dati analitici vanno espressi in concentrazione (mg/g. di bacca) e per bacca (mg/bacca). Dell'acidità titolabile è importante conoscere l'evoluzione dell'acido tartarico e malico, due acidi dal metabolismo molto diverso. Il malico in particolare è espressione dell'andamento stagionale e delle caratteristiche del microclima della chioma, mentre il tartarico oltre al controllo varietale è legato alla disponibilità di acqua.

L'analisi dell'acidità va fatta tempestivamente perché la conservazione in frigorifero delle bacche favorisce la precipitazione dell'acido tartarico. Il dosaggio degli antociani e dei polifenoli, pur essendo di grande utilità pratica per valutare il grado di maturità delle varietà a bacca rossa, necessita di un laboratorio attrezzato. Le informazioni che si possono trarre dalle dinamiche dei metaboliti secondari sono molto importanti per valutare le alterazioni nei processi di sintesi provocate da stress nutrizionali, termici ed idrici. Inoltre, la valutazione della maturità fenolica consente di stimare oltre ai contenuti di polifenoli, anche il

grado di interazione del vitigno con il *terroir*, per le relazioni che hanno questi composti con altre molecole (le proteine, i polisaccaridi, etc.) importanti nell'equilibrio e nella concentrazione aromatica di un vino.

Nella valutazione del grado di maturità dell'uva, assieme ai parametri fisico-chimici, l'analisi sensoriale delle bacche ha dimostrato essere uno strumento efficace di sintesi e di facile applicazione. Attraverso la valutazione della struttura e dell'astringenza della polpa e della buccia, la durezza dei vinaccioli, delle sensazioni aromatiche (vegetale, fruttato, floreale, etc.) consente una valutazione globale delle caratteristiche della bacca.

### **I fattori interni che condizionano lo sviluppo e la maturazione della bacca**

Lo sviluppo della bacca è un processo complesso che può essere suddiviso in tre fasi con caratteristiche fisiologiche e biochimiche distinte. La prima si identifica in un aumento esponenziale delle dimensioni delle bacche per i processi di divisione cellulare.

In questa fase nella buccia e nella polpa sono già presenti gli acidi tartarico e malico. L'accumulo di quest'ultimo nelle fasi iniziali di sviluppo rappresenta un substrato per i processi di respirazione, mentre nelle fasi finali di neo-genesi per gli zuccheri e le proteine.

La seconda fase è caratterizzata da un rallentamento della crescita, al termine della quale prende l'avvio l'invaiaitura, che si evidenzia vistosamente nei vitigni a bacca rossa con l'inizio della sintesi degli antociani e con la distensione delle cellule che fa letteralmente raddoppiare le dimensioni della bacca. Il saccarosio, prodotto nelle foglie, raggiunge i frutti attraverso il floema e viene idrolizzato nel pedicello formando glucosio e fruttosio. Questi cam-

biamenti si verificano in concomitanza di un aumento dei soluti apoplastici e dell'acido abscissico, con un aumento dell'afflusso di zucchero e dalla sovra regolazione degli enzimi che rendono più elastica la parete cellulare.

Nelle bucce si formano i precursori d'aroma.

La maturazione è il risultato di importanti processi regolatori trascrizionali e/o post-trascrizionali che sono stati oggetto di numerose ricerche per comprendere lo sviluppo delle bacche in una prospettiva globale.

Particolare attenzione è stata rivolta alle reti trascrizionali e metaboliche degli acini d'uva in relazione ai fattori esterni che influenzano il processo di maturazione (Tab.2).

**Tabella 2**

**Sintesi dei processi di maturazione e dei relativi fattori di controllo (genetici, ambientali, antropici) Failla, Brancadoro, 2005**

Crescita per moltiplicazione e per distensione cellulare Sintesi e accumulo di: acidi organici (tartarico e malico), tannini, flavonoli, clorofilla, carotenoidi, (metossipirazine) Accumulo di: ammonio, calcio, potassio, xilema e floema attivi	Crescita per distensione cellulare Accumulo diglucosio e fruttosipotassio Sintesi e accumulo diamminoacidi (arginina e prolina) e proteineantociani (vitigni a bacca colorata), flavonoli, aromi primari e precursori (terpeni, nor-isoprenoidi, tioli) Degradazione di: acido malico, clorofilla, carotenoidi, (metossipirazine) Polimerizzazione dei tannini Riduzione acidità titolabile, aumento pH, rammollimento delle pareti cellulari Xilema interrotto, floema funzionante
--	---

*Parte prima: fisiologia della maturazione*

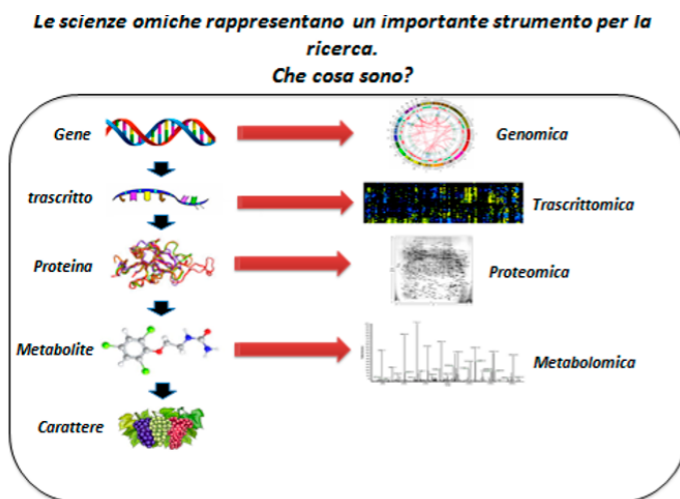
Maturità	Indice di maturità	Livello di intervento
Tecnologica	Concentrazione zuccherina in assoluto e in relazione al livello di acidità titolabile	Alto
Acidica	Acidità reale (pH) Livelli di tartrato e di malato Livelli di potassio	Medio
Sostanze azotate	Concentrazione dell'azoto prontamente assimilabile	Alto
Aromatica	Concentrazione degli aromi primari Concentrazione dei precursori degli aromi primari Concentrazione dei precursori degli aromi secondari terziari	Basso
Fenolica / Antocianica	Concentrazione di antociani Estraibilità degli antociani Qualità del profilo antocianico	Basso
Fenolica / Tannica	Concentrazione dei tannini nella buccia e nei semi Estraibilità dei tannini Polimerizzazione dei tannini	Basso
Fenolica / Nutraceutica	Concentrazione in stilbeni e in flavonoli	Basso

Fenolica / Antocianica			
	Concentrazione	Estraibilità	Qualità del profilo
Effetto diretto			
Metabolismo bacca	Intensità della sintesi Intensità della degradazione?	Intensità del processo di degradazione delle pectine	Attività degli enzimi di idrossilazione, metilazione e acilazione
Effetti indiretti			
Crescita bacca	Dimensione della bacca Spessore della buccia	Stato di maturazione	
Stato fisiologico della pianta	Disponibilità fotosintati Stato idrico	Precocità del processo di maturazione	Disponibilità fotosintati
Eco-fisiologia del vigneto	Rapporti vegeto-produttivi, microclima termico, luminoso e evaporativo	Fenologia del sito	Clima Microclima

Approcci come la genomica, il trascrittomico, la proteomica e la metabolomica, accoppiati all'editing del genoma possono rappresentare delle importanti fonti di informazioni per arrivare alla produzione di una mappa meccanicistica che metta in relazione i fitormoni con i cambiamenti dello sviluppo del frutto (Fig. 5).

**Figura 5**

**Schema delle azioni a cascata dei processi che regolano la maturità dell'uva che partendo dal patrimonio genetico della pianta arrivano ai metaboliti illustrati dai progressi nella conoscenza attraverso le scienze omiche (Espin, comunicazione personale)**



La maturazione può essere omologata ad una condizione di senescenza e di stress ambientale (lo stress idrico e radiativo) che spesso ne amplificano i segnali fisiologici. È ampiamente accettato che la regolazione ormonale è una condizione fondamentale per lo sviluppo e la maturazione della bacca sebbene nessun singolo *master controller* sia in



grado di determinarla. Le prime fasi dello sviluppo delle bacche sono principalmente guidate da auxina (IAA), citochinine (CK) e gibberelline (GA), ormoni prodotti dai semi che promuovono la divisione cellulare e l'espansione cellulare. Successivamente i cambiamenti che avvengono dall'invasatura alla piena maturazione sono associati ad aumenti sequenziali di etilene (ETH), brassinosteroidi (BRs) ed al contenuto di acido abscissico (ABA) prodotti dalle bucce, che promuovono la maturazione attraverso interazioni complesse. L'acido abscissico (ABA) ha un ruolo determinante nella maturazione ed è associato soprattutto alla sintesi degli antociani. Tra i segnali mobili, i m-RNA non codificanti potrebbero svolgere un ruolo importante nella regolazione di processi complessi come lo sviluppo e la maturazione dei frutti a causa della loro capacità di regolare l'espressione genica.

Un gene che svolge un ruolo importante nella regolazione del processo di maturazione è stato recentemente individuato in un fattore di trascrizione denominato FaPRE1. Questo gene ha il ruolo di "sentinella" del processo di maturazione perché quando arriva il momento della maturazione stoppa i geni dello sviluppo, ossia le auxine e mette in moto quelli della maturazione (ABA). Attraverso le ricerche omiche è stato possibile osservare che le vie metaboliche e di segnale durante la maturazione sono simili a quelle che regolano l'equilibrio osmotico per il coinvolgimento di proteine simili all'osmotina (OLP). Questa diminuzione del potenziale osmotico è alla base delle fasi iniziali della maturazione del frutto ed è influenzato dalla ridotta disponibilità di acqua. Sebbene l'uva non sia un frutto climaterico, l'etilene è coinvolta non solo nell'espressione dei geni associati alla senescenza e nella segnalazione della difesa, ma anche nella maturazione dei frutti, dove la

produzione di etilene auto catalitico porta a cambiamenti nel metabolismo delle pareti cellulari, all'accumulo di carotenoidi, alla degradazione della clorofilla, alla sintesi di composti volatili ed alla modulazione degli zuccheri e degli acidi.

### **I fattori esterni: la temperatura e la radiazione**

Il regime delle temperature durante la maturazione dell'uva ha grande importanza nella tipicità di un vino. La temperatura delle regioni viticole può essere valutata su scale molto ampie mediante gli indici bioclimatici come ad esempio quello di Winkler, o su scala meso e microclimatica, dimostrando che anche in spazi limitati le temperature possono subire grandi variazioni. Il metabolismo degli zuccheri, degli acidi organici e dei metaboliti secondari è desincronizzato nella maturazione delle bacche per effetto delle alte temperature che agiscono sull'espressione trascrizionale dei rispettivi geni.

La temperatura critica varia tra i vitigni anche in base alla loro sensibilità o tolleranza alla siccità coinvolgendo i meccanismi di segnale nella sintesi di acido abscissico ed etilene. La risposta generica agli stress (ambientali e parassitari) nelle bacche è l'induzione dell'accumulo di antociani, che agiscono come molecole protettive. Le bacche di vite rispondono ai raggi UV-B attraverso l'attivazione della produzione di metaboliti foto protettivi (come i flavonoidi) ed in particolare il resveratrolo e i suoi analoghi. Le radiazioni variano con la copertura nuvolosa e aumentano con l'altitudine. Per ogni località, la temperatura e le radiazioni variano di anno in anno (il cosiddetto "effetto annata") ed a causa del cambiamento climatico, sono soggette ad un generale incremento. L'innalzamento della quota

altimetrica provoca una diminuzione di temperatura che può essere calcolata di circa 1° C ogni 100 m. Questo gradiente termico determina un ritardo nelle fasi fenologiche ed un rallentamento dei processi di maturazione, che avvengono in periodi con temperature giornaliere più basse e si giovano del salto termico tra il giorno e la notte, molto favorevole alla sintesi degli aromi. Per queste caratteristiche con il cambiamento climatico in corso, la viticoltura tende a delocalizzarsi verso le zone di maggiore altitudine soprattutto quella destinata alla produzione di uve per le basi spumanti (Trentino, Alta Langa).

I vini prodotti alle quote maggiori presentano acidità più elevata, soprattutto malica, pH più bassi ed a seconda delle varietà, un patrimonio polifenolico minore. Per contro le produzioni/ ceppo sono limitate per una minore induzione a fiore della gemma ibernante (grappoli sono di dimensioni ridotte). Ricerche condotte in Valtellina hanno evidenziato che la lunghezza del periodo compreso tra il germogliamento e la maturazione, dipende dalla quota (attraverso le sommatorie termiche) ed influenza soprattutto la maturità tecnologica (quella relativa all'accumulo degli zuccheri ed alla degradazione degli acidi), mentre quella fenolica (evoluzione degli antociani e tannini) è in gran parte influenzata dalla produzione /ceppo. La PAR (la radiazione solare che ha effetto sulla fotosintesi) è diversa a seconda delle altitudini e delle esposizioni ed influenza notevolmente la maturazione fenolica. Ad esempio, nella fascia bassa della viticoltura valtellinese (< 400 mslm.), dove si raggiunge la migliore maturità tecnologica, si ha una buona maturità fenolica solo dove la precocità è media e la PAR bassa. Questo perché i tempi di accumulo sono più lenti ma più progressivi e consentono una sintesi dei polifenoli in condizione termiche e fotosintetiche ottimali.

Anche alle quote maggiori (> 500 mslm.) per gli stessi motivi, sono le zone a bassa PAR ad avere una maggiore maturità fenolica. Uno studio analogo realizzato sull'Etna ha evidenziato il ruolo determinante sui fenomeni di accumulo dei polifenoli nel Nerello mascalese delle condizioni mesoclimatiche che derivano dall'interazione della quota altimetrica con l'esposizione. I livelli più elevati di antociani si sono infatti avuti nei vigneti di media / elevata altitudine (700-900 mslm) esposti a sud-sud ovest, rispetto a quelli localizzati a 400-500 mslm ma con esposizione nord-est. Non è apparsa significativa la differenza nei contenuti in zuccheri ed in acidità totale.

### **Modelli previsionali della maturazione**

L'utilità di disporre di modelli previsionali per la stima della maturazione ottimale è stata riaffermata dalla fase climatica che stiamo attraversando. Questi modelli empirici basati sugli indici bioclimatici presentano alcuni vantaggi quali la semplicità di calcolo, la loro spazializzazione perché facilmente collegabili a scenari di cambiamento climatico, anche per territori orograficamente complessi ed hanno una buona correlazione con i dati chimico-analitici della bacca. Sono in genere calcolati su scale spaziali a maglia molto stretta e correlano serie storiche di dati climatici con gli andamenti delle maturazioni, consentendo così di prevedere in anticipo con una buona attendibilità il processo di maturazione in corso. I più semplici sono definiti fenologici ed utilizzano una fase che si è rivelata strategica nella maturazione, quella dell'intervallo tra fioritura ed invaiatura (GFV) e quella cosiddetta della progressione della maturazione (GSR), consentendo così di simulare con un certo anticipo i tempi di accumulo degli zuccheri.

L'utilizzo di questi modelli che modulano la cronologia delle fasi fenologiche su scala regionale è anche utile per indirizzare le nuove scelte varietali come strategia di adattamento ai cambiamenti climatici in quanto i vitigni presentano comportamenti molto diversi al riguardo. Un altro modello lineare è in cosiddetto *Growing Degree Days* (GDD) che richiede un minor numero di parametri e quindi è di applicazione più semplice. Il modello è stato utilizzato per caratterizzare e classificare un'ampia gamma di cultivar in relazione all'ambiente di coltivazione con l'obiettivo di raggiungere le concentrazioni target di zucchero.

Un modello di previsione della maturazione basato su un'analisi della curva SRI (*Solar Radiation Index*), è stato proposto recentemente per valutare l'influenza delle caratteristiche geografiche di un territorio molto complesso come l'Alto Adige sulla maturazione ottimale. Attraverso questo indice sono stati delimitati territori che presentavano differenze significative nella concentrazione di antociani e tannini nei vini di Pinot nero. Un basso SRI ha permesso di caratterizzare i vigneti di Sauvignon b. con elevati contenuti di tioli nei vini. Per il Gewürztraminer, vitigno molto sensibile alle influenze del terroir e dell'andamento stagionale, l'indice di topoclima SRI ha consentito di individuare le zone con caratteristiche geografiche capaci di ridurre la vulnerabilità attraverso la previsione dei tempi di maturazione e di raccolta ottimali. Anche se meno importanti della temperatura dell'aria, le caratteristiche dei suoli possono influenzare la fenologia della vite e quindi la maturazione. L'acidità totale è positivamente correlata con il contenuto di argilla ed alla materia organica e negativamente con il contenuto di sabbia e lo scheletro.

L'acido malico non ha mostrato invece alcuna correlazione con il contenuto di argilla, anche se in questi

terreni la maturazione è più lenta. Recentemente la creazione di mappe trascrittomiche relative alla maturazione ha consentito di definire con precisione un modello di fenologia molecolare che può essere utilizzato per mappare lo sviluppo ontogenetico dello stadio di sviluppo delle bacche di diversi vitigni.

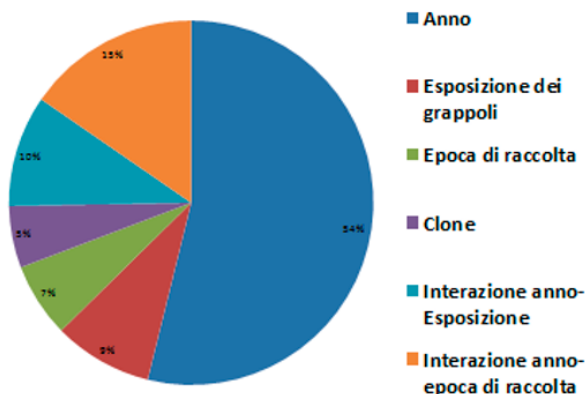
### **La maturità asincrona nella vite e nel vigneto e le sue cause**

Le componenti della produzione di un vigneto sono molto numerose (densità d'impianto, numero di germogli/ceppo, grappoli/germoglio, grappoli/ceppo, peso del grappolo, bacche/grappolo, peso delle bacche, produzione /ceppo) (Fig.6).

**Figura 6**

**Influenza delle variabili genetica - ambientali sulla maturità del Sangiovese a Montalcino. L'annata e l'interazione dell'andamento stagionale con l'epoca della raccolta hanno il maggiore controllo della maturazione (Brancadoro, comunicazione personale)**

#### **INFLUENZA DI ALCUNE VARIABILI CULTURALI SULLA MATURAZIONE DEL SANGIOVESE ( MONTALCINO, 2019)**



La maturazione dei frutti di un vigneto è fortemente asincrona tra le singole viti ed all'interno delle stesse. È facilmente valutabile a livello macroscopico tra i ceppi per il numero e dimensioni dei grappoli ed è soprattutto riconducibile al peso delle bacche. Sono infatti le dimensioni del grappolo le maggiori responsabili delle differenze di composizione chimica (per l'anticipo o il ritardo che inducono nella maturazione).

Questa eterogeneità è anche la maggiore fonte di errore nella raccolta dei campioni per i pre-vendemmiali. Le cause che determinano le maggiori differenze nelle dimensioni di grappoli sono molto precoci ed iniziano nei processi di ontogenesi, a partire dalle dimensioni dei primordi delle infiorescenze e quindi dal numero dei fiori, delle bacche allegate e dalla posizione sul germoglio. Sfuggono quindi ad un controllo efficace da parte del viticoltore nell'annata in corso perché sono il risultato delle condizioni dell'induzione a fiore dell'anno precedente.

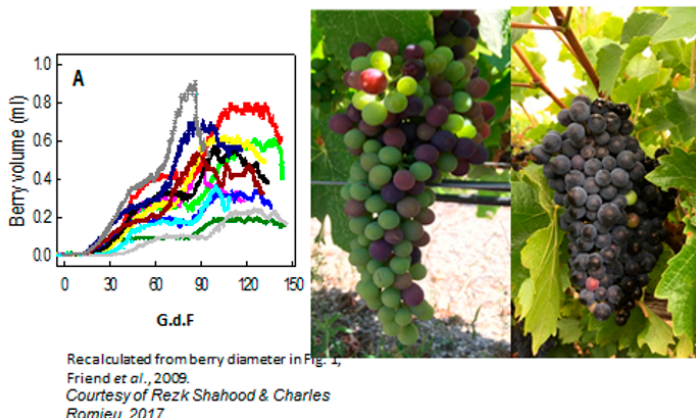
### **Dimensioni delle bacche, maturazione e composizione del mosto**

Lo sviluppo delle bacche dall'allegagione alla maturità è tipicamente rappresentato da una curva a doppia sigmoide, ma in due bacche in uno stesso grappolo non si osserva lo stesso andamento perché i fiori di un grappolo presentano una fioritura asincrona (Fig.7).

**Figura 7**

A livello di grappolo le bacche hanno una maturità asincrona valutabile non solo con l'eterogeneità della colorazione delle bacche ma anche dalle loro curve di crescita (Shahood, Romieu, 2017)

- **Cosa e' lo sviluppo asincrono delle bacche e l'eterogenita' di maturazione nel grappolo ?**



Di norma fioriscono prima i fiori sulle ali e poi progressivamente quelli della punta e questo determina un diverso sviluppo nei vinaccioli, responsabili nella prima fase di divisione cellulare della bacca. Le divergenze nella crescita appaiono subito dopo la fioritura e si mantengono tali per tutta la vita della bacca e sono alla base delle differenze nella loro composizione chimica, che purtroppo è molto difficile da documentare nelle conseguenze enologiche. Il numero dei vinaccioli ed il volume della bacca sono tra loro strettamente correlati e condizionano lo sviluppo del sistema vascolare del rachide e del pedicello, che è alla base dell'efficienza del trasporto xilo-floematico e quindi delle differenze della composizione delle bacche.



L'omogeneità nello sviluppo delle bacche in un grappolo è un aspetto della qualità di norma trascurato dal viticoltore, ma poiché le dimensioni della bacca sono alla base della sua composizione, avere bacche il più possibile simili tra loro, vuol dire che nel vigneto si sono fatte scelte genetiche e colturali corrette. Per ogni vitigno e situazione pedoclimatica vi sono delle dimensioni delle bacche ottimali. Le bacche troppo grandi non sono favorevoli alla qualità perché hanno un rapporto buccia/polpa troppo basso. Per contro la maggiore capacità delle bacche piccole ad accumulare antociani non appare una conseguenza diretta della loro minore dimensione ma piuttosto il risultato di una convergenza di effetti ambientali.

Sono le condizioni pedologiche e fisiologiche che inducono un minore sviluppo e determinano nel corso della maturazione condizioni favorevoli alla sintesi e all'accumulo di antociani. Il fattore ambientale che condiziona sia la dimensione della bacca che la capacità di accumulare antociani è almeno in parte riferibile alla capacità dei suoli di indurre uno stato adeguato di deficit idrico nel corso della maturazione della bacca. Per contro anche le bacche troppo piccole non sono necessariamente le più qualitative se messe in relazione alla concentrazione degli zuccheri richiesti dallo specifico obiettivo enologico (es base spumante). In climi freschi, con suoli a bassa fertilità ed in presenza di vitigni dotati di una buona produttività come il Pinot nero (Borgogna, Palatinato, Oregon, Alto Adige), le bacche di minori dimensioni presentano dei contenuti di antociani e fenoli totali più elevati. In queste condizioni l'influenza del peso della bacca sulla composizione del vino sembrerebbe più importante degli effetti attribuiti all'annata, *terroir* o produzione per ceppo.

## **Le criticità nella valutazione della maturità nel vigneto**

Nel campionamento delle bacche si deve in via prioritaria valutare il grado di eterogeneità del vigneto per evitare delle informazioni errate sulla maturazione. La metodologia proposta dall' OIV cerca di evitare errori di questo tipo. Essa consiglia di raccogliere campioni di circa 200 bacche nella parte mediana della chioma, sui due lati della parete (per il ruolo della radiazione UV-B nella sintesi dei polifenoli), prelevandole da grappoli posti a diverse altezze sul ceppo. A seconda degli obiettivi che si vogliono perseguire, le tecniche di campionamento sono molto diverse (Fig.8).

**Figura 8**

**A seconda degli obiettivi che si vogliono perseguire le tecniche di campionamento sono molto diverse (Deloire et al. 2019)**



**Per ricerca e studio**

Il metodo migliore

**Per controllare la maturazione**

Inconvenienti : richiede tempo, problemi con grappoli compatti



**Per ricerca e studio**

Non consigliabile perchè riduce il numero di viti e di grappoli controllabili

**Per controllare la maturazione**

Inconvenienti: richiede tempo, problemi con grappoli compatti



**Per ricerca e studio**

Non consigliabile (la rimozione di 10 % dei grappoli potrebbe influenzare la maturazione)

**Per il controllo della maturazione**

Quale il migliore metodo ?

La necessità di rendere il campionamento delle bacche per la stima della maturazione rappresentativo delle varie

zone del vigneto, ha reso necessario un approccio statistico, anche se molto elementare, capace di valutare il grado di dispersione dei campioni pre vendemmiali attorno alla media della popolazione. Il coefficiente di variazione (CV) espresso in %, ottenuto dal rapporto tra deviazione standard (x100) e la media, rappresenta il metodo più semplice ed efficace per la valutazione della variabilità tra i campioni. La disformità di maturazione tra le piante o tra i grappoli presenta valori diversi a seconda dei parametri analitici. È abbastanza modesto per gli zuccheri (4-5%) ed il pH (3-4%), ma diviene importante per l'acidità titolabile (10-12%) e soprattutto per gli antociani (13-18%). Le cause di variazione più importanti tra le viti è dovuta alla produzione di uva per ceppo, all'esposizione dei frutti ed al vigore della pianta.

Queste differenze sono attribuibili a diversi fattori quali la variabilità genetica (presenza nel vigneto di più varietà non sempre facilmente riconoscibili durante il campionamento, biotipi e cloni), l'eterogeneità nell'età delle viti, dovuta ai rimpiazzi delle fallanze, che presentano produzioni/ceppo molto diverse, la variabilità spaziale legata alle caratteristiche della topografia e della pedologia che influenzano soprattutto le disponibilità idriche del suolo (carenza ed eccesso) e determinano espressioni vegetative (densità della chioma, rapporto chioma/frutta) dal forte impatto sulla composizione della bacca. In casi particolari anche le conseguenze di attacchi parassitari che riducono l'area fogliare, i danni di grandinate ed i postumi delle gelate primaverili hanno effetti importanti in questo senso (Fig.9).

Figura 9  
Cause della maturità eterogenea in un vigneto

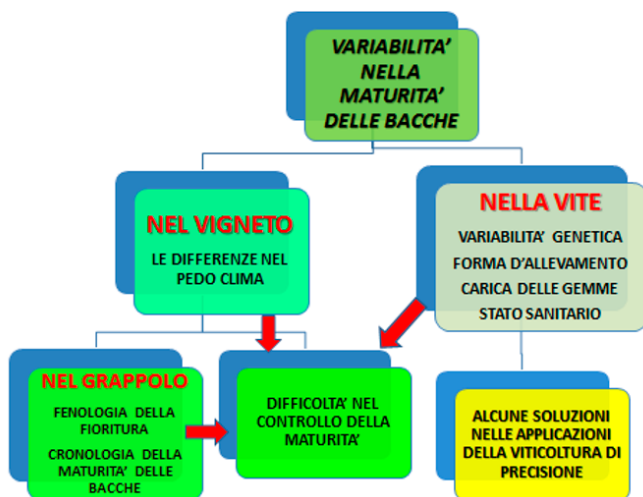


Tabella 2  
Indicazioni per gestire la maturità eterogenea dei vigneti

<b>INDICAZIONI PER GESTIRE UNA MATURITA' ETEROGENEA (controllo maturità, trasformazione enologica)</b>
<ul style="list-style-type: none"><li>• 1. IDENTIFICARE LA CAUSA DELLA VARIABILITA' (FATTORI TOPO-PEDOLOGICI, PARASSITARI, CULTURALI)</li><li>• 2. CONTROLLO DELLA MATURITA' CON CAMPIONAMENTI FATTI NELLE DIVERSE ZONE DEL VIGNETO IDENTIFICATE CON LA VP.</li><li>• 3. AUMENTARE IL NUMERO DEI CAMPIONAMENTI A SECONDA DEL GRADO DI VARIABILITA'</li><li>• 4. INTEGRARE L'ANALISI DEI MOSTI CON L' ASSAGGIO DELLE UVE (EQUILIBRIO ACIDO/ZUCCHERI, AROMA, COMPLESSITA' TANNINI)</li><li>• 5. FARE CAMPIONAMENTI RAVVICINATI NEL CORSO DELLA MATURAZIONE PER CAPIRE LE DIVERSE DINAMICHE D'ACCUMULO</li><li>• 6. SE IL VIGNETO MANIFESTA UNA ELEVATA VARIABILITA' FARE DUE-TRE PASSAGGI DI VENDEMMIA</li><li>• 7. ATTUARE LE VENDEMMIE IN PICCOLI LOTTI PER POTER RACCOGLIERE LE UVE A DIVERSA MATURAZIONE</li></ul>

## L'innovazione digitale nella valutazione della maturazione

La transizione digitale e green sarà sempre più un fattore strategico per il settore viticolo. Solo lo sviluppo, l'implementazione e l'adozione diffusa di nuove tecnologie consentiranno alla produzione viticola italiana maggiore sostenibilità (sia economica che ambientale), resilienza a cambiamenti ambientali e capacità di risposta alla crescente concorrenza internazionale. Queste tecnologie, infatti, permettono di realizzare produzioni di qualità e di certificare la filiera rispondendo alle crescenti esigenze da parte dei consumatori di prodotti sani ed *eco-friendly*. In questo quadro la Viticoltura di Precisione (VP) e più in generale la viticoltura digitale, rappresentano un approccio metodologico che può essere realizzato solo con una adozione capillare di innovazioni tecnologiche.

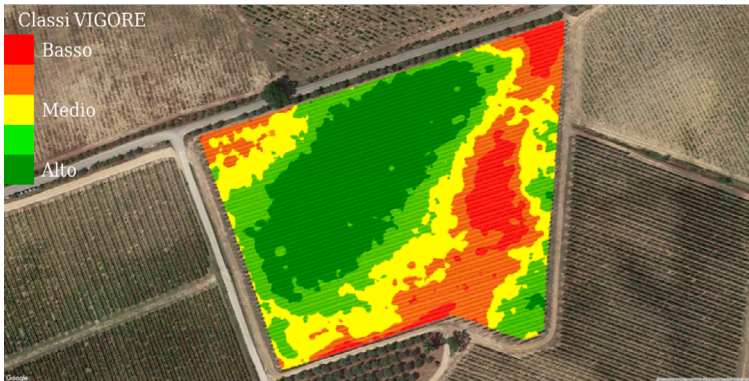
Alla constatazione di una elevata variabilità nei vigneti dovuta alle diverse interazioni del sistema suolo-vitigno, corrisponde la difficoltà oggettiva di gestione i fattori di produzione per massimizzare le rese compensando carenze idriche o nutrizionali. Tale azione può oggi essere supportata dalle tecnologie di *sensing* a supporto dell'VP in grado di caratterizzare il sistema agricolo (suolo/pianta e tecnica colturale) nello spazio (il campo, l'azienda e il distretto) e nel tempo (durante il giorno, la stagione e in pianificazione futura) acquisendo dati da una specifica sensoristica. Punto di partenza di questo approccio caratterizzato dalle fasi "acquisizione dati – generazione di informazioni – regolazione delle azioni in campo" è la capacità di identificare la variabilità in campo. L'eterogeneità spaziale degli appezzamenti può essere efficacemente rilevabile oggi attraverso l'uso di tecnologie di *proximal sensing* (sensori geofisici trasportati in campo su quad o applicati direttamente alle

macchine agricole), *remote sensing* (acquisizione immagini da piattaforme UAV o satellitari) e sistemi di gestione ed elaborazione di dati geospaziali (Ager- Enogis). Tale approccio consente di ottenere accurate mappe di variabilità di una o più caratteristiche rilevanti del sistema suolo-coltura come ad esempio sviluppo della vegetazione, lo stato nutrizionale della coltura, le caratteristiche pedologiche.

Queste mappe diventano l'input fondamentale per la creazione di unità gestionali o management zone (MZ) più piccole rispetto all'intero appezzamento. Infatti, le MZ sono aree a comportamento omogeneo all'interno degli appezzamenti che divengono le unità su cui attuare interventi gestionali differenziati grazie alla VP. I dati satellitari rappresentano una delle fonti più importanti per l'identificazione della variabilità intra-vigneto per la generazione delle MZ e per la produzione di mappe di prescrizione funzionali alle esigenze della coltura. Lo sviluppo tecnologico consente oggi di avere una notevole fonte di dati rilevati. Il programma Copernicus dell'EU attraverso i dati delle missioni Sentinel ha messo a disposizione dei viticoltori una fonte di informazioni operativa e gratuita dedicata al monitoraggio agricolo in grado di fornire immagini multispettrali ogni cinque giorni con risoluzioni decametriche (10-20 m). Le immagini così riprese hanno una risoluzione adeguata a identificare variabilità intra vigneto anche per appezzamenti di pochi ettari e le informazioni spettrali misurate dai sensori, nelle diverse bande dello spettro elettromagnetico del visibile e vicino infrarosso, consentono di evidenziare le condizioni delle colture in termini di sviluppo e stato nutrizionale ovvero fornire gli input per le decisioni agronomiche (Fig.10).

Figura 10

Mappe di indice di vegetazione (NDVI) ottenute da proximal sensing dove è possibile rilevare dalle differenti colorazioni il vigore delle viti che è alla base dei processi di maturazione. I risultati di queste analisi consentono di individuare nel vigneto le parcelle dove prelevare i campioni di uva per il controllo della maturità ed attuare una vendemmia selettiva. (Toninato L. Ager-Enogis, comunicazione personale)



Le mappe di indice di vegetazione o di vigore (NDVI) e quelle ottenute dagli indici di conducibilità elettrica del suolo (CE) che sono correlati con i livelli antociani totali e flavonoidi possono essere utilizzate in maniera efficace, per evidenziare porzioni del vigneto con caratteristiche omogenee, nelle quali effettuare il prelievo dei campioni di uva per i pre vendemmiali e successivamente per attuare una vendemmia selettiva (manuale o a macchina) in funzione del grado di maturità delle uve.

## **Cambiamento climatico e maturazione**

L'adattamento ai cambiamenti climatici è un obiettivo strategico per il futuro della viticoltura, un settore economico particolarmente vulnerabile che dipende fortemente dalle condizioni meteorologiche e climatiche. L'adattamento ai cambiamenti climatici può essere ampiamente definito come l'insieme di azioni e processi che le società devono intraprendere per limitare gli impatti negativi dei cambiamenti e massimizzarne l'effetto positivo. Nel caso della viticoltura, le potenziali leve di adattamento sono numerose e comprendono sia le scelte tecniche, dall'impianto alla gestione annuale e alla vinificazione, sia le dinamiche spaziali rappresentate dalla delocalizzazione e dagli input del miglioramento genetico (nuovi vitigni e portinnesti) dotati di una maggiore stabilità fenotipica. La ricerca ha portato a una migliore conoscenza della fisiologia della vite e a una migliore gestione del processo di maturazione.

Le innovazioni come la raccolta meccanica selettiva aiutano a migliorare la reattività e la precisione nella pianificazione del lavoro di raccolta. Oggi i vigneti vengono vendemmiati a maturazione ottimale, contrariamente ad un recente passato nel quale per i vitigni precoci e/o destinati alla produzione di basi spumanti, alla accelerazione delle fasi di maturazione non corrispondeva altrettanta tempestività nella raccolta. Quando si affronta il cambiamento climatico, è necessario raggiungere un equilibrio tra due decisioni rappresentate da una vendemmia precoce con l'obiettivo di mantenere gli standard qualitativi dei vini di quel terroir ed adottare nel contempo scelte colturali per ritardare il periodo di maturazione il più a lungo possibile, quali una gestione della chioma che protegga i grappoli dall'eccessiva radiazione e l'irrigazione e processi enologici



volti a gestire alti gradi di alcol e bassa acidità. L' aumento della temperatura induce una maturazione più precoce e più rapida, (in agosto piuttosto che a settembre) e questo la renderà più difficile da controllare, perché la concentrazione degli zuccheri può aumentare sostanzialmente entro pochi giorni. Gli effetti del cambiamento climatico sui processi di maturazione hanno cambiato in modo sostanziale i paradigmi che nel passato avevano indirizzato le scelte genetiche e colturali nella creazione e conduzione dei vigneti, così come il concetto di vocazione qualitativa di un territorio.

Gli zuccheri sono i primi indicatori della maturazione e non rappresentano solo gli elementi di base per la fermentazione, ma sono i precursori dei metaboliti secondari quali i polifenoli ed i composti aromatici. Gli obiettivi della sperimentazione ed i riscontri della pratica viticola avevano infatti lo scopo fondamentale di massimizzare il tenore degli zuccheri attraverso opportune scelte clonali, le combinazioni d'innesto, le densità d'impianto, le forme d'allevamento.

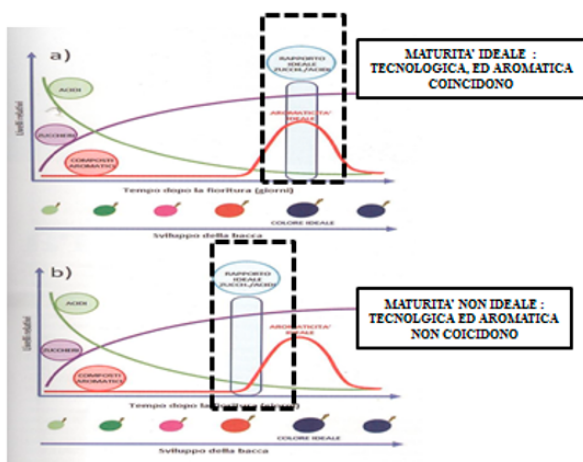
Per i fattori della produzione che si possono definire variabili come la gestione della chioma, del suolo o l'irrigazione, l'adattamento alle mutate condizioni è relativamente agevole, mentre molto meno lo sono gli interventi cosiddetti strutturali come la scelta della varietà, della densità d'impianto, del portinnesto o di un diverso sito di produzione, che hanno bisogno di una vera rivoluzione del modello viticolo. Inoltre, l'accelerazione ai processi di maturazione ha evidenziato che i meccanismi biochimici che presiedono alla sintesi degli zuccheri hanno un decorso diverso da quello della sintesi dei polifenoli. Il mancato allineamento di questi processi è particolarmente evidente per alcuni vitigni come il Pinot nero nel quale la maturità

fenolica e tecnologica sono contemporanee solo in particolari condizioni ambientali temperato-fredde (Fig.11).

**Figura 11**

**Per alcuni vitigni (come, ad esempio, il Pinot nero) il cambiamento climatico ha evidenziato un disallineamento nei processi di accumulo degli zuccheri con quelli della maturazione fenolica ed aromatica., di difficile controllo agronomico**

**VALUTAZIONE DELLA MATURAZIONE CON IL CALCOLO DELL'INDICE Z/A E DELLA MATURITÀ AROMATICA**

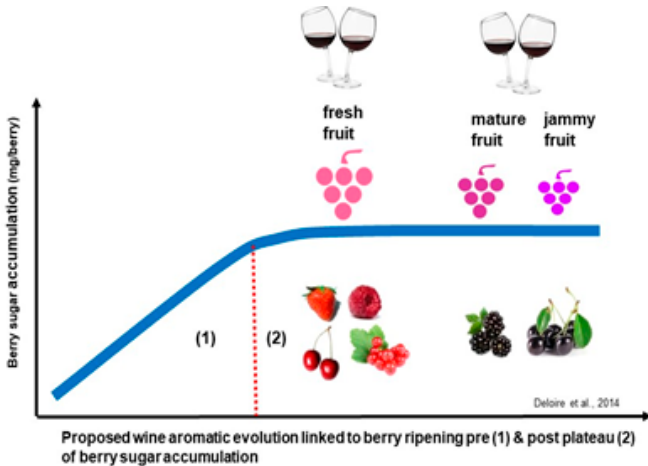


Mentre in passato il raggiungimento del titolo zuccherino necessario a garantire una maturazione ottimale era l'elemento critico delle viticolture settentrionali, attualmente si verifica il contrario ed il suo eccesso rappresenta un problema per le caratteristiche dei vini di territorio. Presentano delle criticità anche il pH, gli acidi organici ed il potassio nel mosto. Mantenere il pH a livelli sufficientemente bassi significa avere mosti dalla composizione equilibrata

per tutte le tipologie di vino. Si può ovviare alle accelerazioni indotte dal cambio climatico sulla maturazione, attraverso delle vendemmie cronologicamente differenziate. In Australia, nella Barossa Valley, i vini Shiraz ottenuti da una vendemmia anticipata presentano descrittori di frutta rossa ed una maggiore acidità, mentre quelli della seconda e terza vendemmia sono correlati a caratteri di frutta nera e confettura matura con una maggiore percezione dell'alcol. Il taglio tra i due vini ha dato un risultato organolettico molto migliore rispetto ai singoli vini (Fig.12).

**Figura 12**

**In ambienti caldi per preservare il profilo aromatico dei vini si attuano 2-3 vendemmie in tempi diversi. I vini ottenuti presentano profili sensoriali diversi che si integrano molto bene con il taglio di vini**



DeLoire et al., 2015

Il profilo polifenolico (qualità e quantità) è fortemente influenzato dalle temperature elevate durante la maturazione. Per garantire la sintesi e la stabilità degli antociani sono necessari dei gradienti termici significativi tra la notte ed il giorno. Le sommatorie a temperatura più elevata deprimono la sintesi di importanti precursori aromatici come i carotenoidi, i nor-isoprenoidi e terpeni. In particolare, le temperature notturne più calde comportano concentrazioni più basse di linalolo e terpineolo e alcoli C6 come l'1-esanolo ed il 3-exenolo, responsabili dell'aroma di frutta fresca in alcune varietà. Purtroppo, non ci sono delle misure adattive appropriate per ridurre questo impatto negativo della temperatura.

La modifica dei profili sensoriali dei vini altera il rapporto consolidato dalla tradizione tra la tipicità del vino ed il terroir, che è alla base della notorietà di alcune regioni viticole. Diviene quindi fondamentale rivedere il concetto di vocazione qualitativa dei terroir dove questi vitigni sono attualmente coltivati, per trovare luoghi alternativi, considerando che l'espressione del terroir è mediata principalmente dalla temperatura dell'aria, dalla radiazione, dal livello di azoto della vite e dal suo stato idrico in relazione alla capacità del suolo di trattenere l'acqua.

Benché non sia facile di disaccoppiare l'effetto dell'esposizione al sole/radiazioni dalla temperatura e spesso non sono escluse possibili interferenze di altri fattori come il deficit idrico, per alcuni metaboliti quali gli antociani, la loro sintesi appare stimolata soprattutto dall'esposizione diretta del grappolo alla luce, anche se l'accumulo finale di antociani è il risultato della differenza tra sintesi e degradazione ossidativa ed è quindi di un equilibrio tra la sintesi, stimolata dalla luce e la perdita ossidativa correlata esponenzialmente invece alla temperatura del grappolo.

Gli accumuli più elevati si riscontrano con decorsi meteorologici caratterizzati da temperature massime giornaliere di 20-25°C senza eccessi termici per esposizione diretta alla radiazione solare. Nei grappoli invece soggetti ad eccessi termici (> 35°C) l'accumulo è penalizzato dall'aumento delle perdite ossidative. Le condizioni di deficit idrico stimolano la sintesi degli antociani e possono compensare gli effetti negativi degli eccessi termici. I flavonoli sono la classe di polifenoli maggiormente reattiva alla radiazione solare e specificatamente alla componente UV- B.

La loro concentrazione può considerarsi un marker dell'ambiente radiativo in cui si è sviluppata e ha maturato l'uva. La sintesi dei terpeni soprattutto in forma glicosilata è stimolata dall'esposizione delle bacche alla luce. Gli eccessi termici (> 30-35°C) incrementano le perdite ossidative e ne determinano una riduzione dell'accumulo. Le condizioni termiche e luminose che possono condizionare l'accumulo finale dei nor-isoprenoidi nelle bacche sono poco note. I loro precursori, i carotenoidi, sono senza dubbio favoriti nella sintesi, dalle condizioni di maggiore esposizione alla luce, come hanno dimostrato i livelli di TDN nei vini di Riesling prodotti con alte radiazioni UV-B. Le annate fresche sono favorevoli all'ottenimento di alti livelli di rotundone, il responsabile del sapore pepato dei vini di Syrah.

Anche la luce ha un effetto stimolante sul rotundone ed una parziale defogliazione nella zona produttiva può migliorarne la sintesi, limitatamente ai climi freschi, dove l'effetto della temperatura sulle bacche è limitato. Pur non essendo un composto aromatico, il glutatione è importante nell'espressione aromatica nei vini, perché agisce come conservante per alcuni precursori di aromi come i tioli volatili che si sviluppano in alcuni vini bianchi du-

rante l'invecchiamento. Questi composti antiossidanti (glutazione e ascorbato) tendono a diminuire nelle piante esposte alle alte temperature, che favoriscono gli aromi di frutta secca nei vitigni a bacca rossa, ma allo stesso tempo portano a una diminuzione della complessità aromatica ed all'invecchiamento precoce in alcuni vitigni come il Merlot. Non va trascurato il ruolo dell'azoto sui precursori aromatici del mosto, indirettamente favorendo un microclima attorno grappoli che mitiga le temperature proteggendoli dalle radiazioni, che direttamente sulla sintesi del glutazione, dei tioli volatili, (soprattutto in alcuni vitigni come il Sauvignon) e di alcuni aminoacidi precursori d'aromi fermentativi. In condizioni limitanti l'azoto favorisce l'allegagione (numero di bacche per grappolo e numero di vinaccioli per bacca) contribuendo allo sviluppo di bacche dalle dimensioni più regolari e quindi con un grado di maturazione più omogeneo. Il suo eccesso incrementa la produzione di uva /ceppo (attraverso il peso medio del grappolo) e predispone agli attacchi di funghi parassiti.

La disponibilità di acqua che dipende dalle condizioni climatiche (precipitazioni ed evapotraspirazione) e dal tipo di suolo (capacità di ritenzione dell'acqua), rappresenta uno dei più importanti driver dell'espressione del terroir attraverso la sintesi dei metaboliti secondari nella bacca. Alcuni vitigni rossi si giovano di una ridotta disponibilità di acqua durante la maturazione, per effetto della riduzione di produzione (grappoli ed acini di dimensioni ridotte), per le modifiche al microclima dei grappoli (maggiore radiazione) e per la maggiore sintesi di alcuni precursori d'aroma come i nor-isoprenoidi. Nei vitigni bianchi gli effetti dello stress idrico sono generalmente sfavorevoli alla qualità, (riduzione dei tioli, dei terpeni e per l'invecchiamento atipico ossidativo). Un effetto dello

stress termico che si manifesta con sempre maggiore frequenza in coincidenza di annate particolarmente calde è quello che determina l'appassimento delle bacche o *berry shrivel*. Alla base del fenomeno è la perdita di acqua della bacca non compensata dal trasporto xilo-floematico.

Può comportare una perdita economica grave a livello ponderale ma le conseguenze sono soprattutto sulla composizione del mosto. I primi sintomi (nei vitigni a bacca rossa anche con una riduzione della sintesi degli antociani) sono visibili a partire dall'inviatura, mentre in prossimità della vendemmia, la morte delle cellule dell'epicarpo assieme al l'appassimento determina la fessurazione della buccia. Appaiono anche disseccamenti del rachide e dei pedicelli, causando gravi alterazioni nei processi di accumulo e di sintesi. Il fenomeno è più frequente in climi molto caldi (Australia), su grappoli esposti ed in alcuni vitigni come Cabernet s., Sauvignon, Shiraz, Grenache, Sangiovese, etc. (Fig.13).

**Figura 13**

**La radiazione UV-B che caratterizzano il cambiamento climatico assieme alle elevate temperature ed allo stress idrico provocano su alcune varietà sensibili dei danni da appassimento delle bacche (*berry shrivel*). È fondamentale proteggere con la chioma i grappoli durante le fasi finali della maturazione. (Deloire et all.2019)**



Berry water loss and shrivelling (Shiraz)

## **Maturazione, cambiamento climatico e adattamento epigenetico**

La capacità delle piante di produrre fenotipi alternativi in risposta ad ambienti molto diversi, nota come plasticità fenotipica, è stata associata recentemente alle variazioni epigenetiche indotte dall'ambiente. L'analisi della diversità epigenetica si è dimostrata efficace anche nel discriminare la variabilità intravarietale nella vite rispetto all'uso dei marcatori molecolari come i microsatelliti (SSR) o i polimorfismi amplificati della lunghezza dei frammenti (AFLP).

I meccanismi epigenetici sono assieme alle mutazioni da trasposoni, alla base della variabilità nella selezione clonale. Sono quindi dei potenziali motori di un rapido adattamento alla variabilità ambientale legata alle caratteristiche dei diversi terroir e degli andamenti stagionali, regolando l'espressione dei geni che controllano la plasticità fenotipica nei processi di maturazione con la produzione di molecole di adattamento (polifenoli, terpeni, carotenoidi, etc.).

L'epigenetica è la trasmissione di tratti e comportamenti senza cambiamenti nella sequenza genica. Si può pensare ad un vitigno come un organismo che ha un hardware genetico di DNA privo di istruzioni per l'uso e che nel rapporto con l'ambiente nel quale vive, il DNA crea il software per il proprio funzionamento. Il DNA impara semplicemente vivendo.

Quale è la differenza tra una mutazione genetica ed una modificazione epigenetica? La mutazione è il cambiamento permanente (è importante sottolineare questo carattere) della sequenza di lettere chimiche che nel loro insieme costituiscono il filo del DNA e dell'informazione (come ad esempio vitigno Pinot grigio che si origina dal Pinot nero



per una modifica strutturale nella sequenza delle basi del DNA che codificano per il colore delle bacche), mentre l'effetto epigenetico, oltre ad essere rappresentato da una sequenza di sostanze chimiche, di per se stabile ed ereditabile in quanto tale, consente che il DNA possa essere modificato durante la propria vita in modo non permanente. Questi cambiamenti sono in parte ereditabili e sono dovuti a piccole molecole che interagiscono con il DNA e che su di esso iscrivono il vissuto dell'organismo. "Su" di esso, "epi" - genetica, appunto. Oltre ad essere il depositario dell'informazione a lungo termine, il DNA ha dunque memoria a breve termine e conserva traccia della propria esperienza.

Lo scopo di questo straordinario meccanismo di gestione dell'informazione è quello di modulare in modo flessibile la risposta della pianta alle condizioni dell'ambiente. Se il genoma è la biblioteca, l'epigenetica è il modo per leggerla. Un vitigno ha attraversato fasi climatiche calde (come l'optimum climatico medievale) e fasi fredde (la piccola glaciazione medievale) che lo hanno costretto a processi di adattamento molto profondi e che hanno originato quelle varianti fenotipiche sulle quali ha operato l'uomo con gli strumenti che gli ha fornito la sua cultura (la selezione), cercando di moltiplicare quelle piante che avevano meglio reagito (per i suoi fini enologici) agli stress ambientali. Il meccanismo epigenetico induce e fissa i cambiamenti molto più rapidamente di quanto possano fare meccanismi di mutazione formale.

Una sorta di imprinting, di memoria. Si realizza attraverso la metilazione del DNA che produce i fenotipi modificati. Questa strategia di adattamento all'ambiente si realizza nei meristemi attraverso l'espressione dei geni che controllano la plasticità fenotipica non solo nelle fasi

iniziali dell'adattamento ma favorendo anche mutazioni nei loci funzionali con effetti temporali a lungo termine. Il Sangiovese, diffuso in molti ambienti della Toscana, Romagna, Marche, Umbria, Lazio, Puglia settentrionale e Campania occidentale, chiamato localmente con nomi diversi (Prugnolo gentile, Brunello, Morellino, Sanvicetro, Sangioveseto) è un esempio di questa variabilità epigenetica che ha prodotto tratti genetici e fenotipici leggermente differenti da quelli della pianta madre e portato alla formazione di biotipi che meglio si adattano a particolari condizioni di coltivazione. La selezione clonale all'interno della variabilità intra varietale ha consentito l'omologazione di circa 120 cloni, tanto che si può parlare piuttosto di una famiglia del Sangiovese.

# Aspetti fisiologici e biochimici dei processi di sviluppo e maturazione delle bacche

*di Osvaldo Failla, Università degli Studi di Milano*

## **Premessa**

Quando il Professor Attilio Scienza mi ha chiesto la disponibilità a tenere una breve lezione sulla maturazione dell'uva, in termini soprattutto di dinamica di accumulo zuccherino, ho accettato con entusiasmo l'invito, soprattutto perché, poco dopo aver terminato l'ultima edizione del corso di Biologia della Vite alla laurea magistrale in Scienze Viticole ed Enologiche del consorzio universitario tra gli atenei di Torino, Milano, Palermo, Sassari e Foggia, mi sono accorto che era stato pubblicato un articolo molto importante, che ha gettato nuova luce sulla fisiologia della maturazione dell'uva (Shahood et al., 2020).

Quello che riporterò farà dunque riferimento soprattutto a questo lavoro che, da un punto di vista metodologico si caratterizza per avere analizzato in modo non distruttivo la crescita di alcune (tra 2 e 3) migliaia di acini, monitorati e analizzati singolarmente. È noto infatti che quando si fanno i campionamenti per monitorare la maturazione dell'uva nei vigneti si raccolgono dei campioni di bacche per poi fare un'analisi complessiva della massa campionata. Questo è ovviamente assolutamente ragionevole, soprattutto per chi deve poi decidere quando vendemmiare. Anche se vi sono tutte le difficoltà del caso per avere un campionamento rappresentativo, su cui adesso è inutile

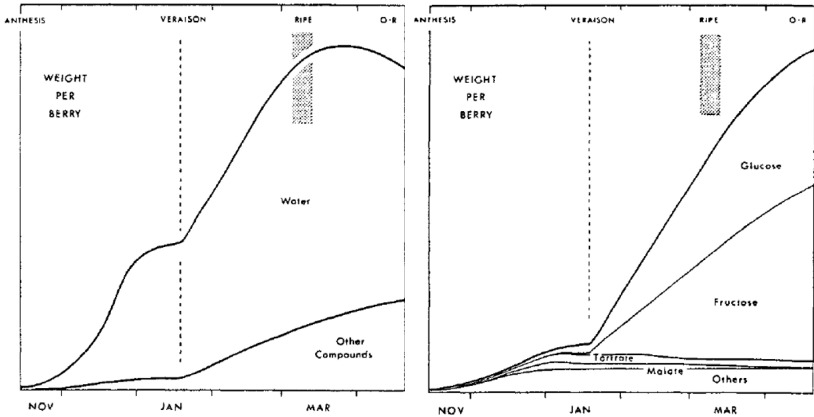
soffermarsi, spesso quello che si trova nell'ultimo campionamento prevendemmiale non lo si riscontra pienamente nella massa di uva vendemmiata, la quale si trova mediamente ad una maturità tecnologica un po' inferiore a quella stimata col campionamento. Il metodo di analisi che coinvolge più bacche, e non individualmente i singoli acini, ha peraltro caratterizzato anche tutta la ricerca sulla maturazione dell'uva.

Questa metodologia è entrata in crisi quando, con l'avvento della trascrittomico, si è cercato di mettere in correlazione i metaboliti coi trascritti, scoprendo come le cose non quadrassero come atteso. Il problema è stato allora in parte superato cercando di campionare bacche allo stesso grado di maturazione definito in giorni dopo l'invasatura delle singole bacche. Il campionamento e l'analisi di singole bacche, delle quali fosse noto il giorno di invasatura, ha rappresentato un progresso metodologico decisivo per la comprensione dei fenomeni della maturazione.

### **L'accumulo zuccherino**

Nella figura 14 è riportato il classico diagramma della maturazione dell'uva, proposto da Coombe (1992) alla fine del secolo scorso. Trovo sia un diagramma molto efficace nell'evidenziare l'essenza del processo di maturazione, ossia il potente accumulo di acqua e zuccheri nella bacca. Tutte le volte che entro in un vigneto tra l'invasatura e la maturazione mi pare di sentire come un fiume di acqua e zucchero che scorre. Si tratta di quel fiume che poi, quando si pigia l'uva, vedremo sgorgare dalle presse. Quel fiume di acqua e zucchero che si osserva in cantina è lo stesso fiume di acqua e zucchero che stava fluendo, tra l'invasatura e la maturazione, dalle foglie verso l'uva. Più precisamente, l'acqua assorbita dalle radici dal suolo e trasportata fino

**Figura 14**  
**Dinamiche di accumulo dell'acqua e dei soluti nella bacca dalla fioritura alla maturazione (tratto da Coombe, 1992)**



alle foglie, lì si carica di zuccheri per poi sfociare nelle bacche. È un fiume di portata impressionante!

### **La dinamica di crescita e di accumulo dello zucchero**

Quando si studiano le dinamiche di maturazione dell'uva, tipicamente si osserva come ad un certo punto la crescita della bacca arrivi "a plateau" mentre lo zucchero continui ad aumentare. In questa fase aumenta la concentrazione di zucchero e ne aumenta al contempo anche la quantità complessiva, perché non si è ancora innescato il processo di disidratazione irreversibile. Successivamente allo stadio a plateau cominciano invece i fenomeni di sovra-maturazione: la bacca perde acqua e quindi l'aumento di concentrazione dello zucchero diventa un po' problematico da comprendere.

Quant'è il contributo della disidratazione e quant'è

l'eventuale contributo di un ulteriore arrivo di zucchero dal floema? Al fine di studiare e comprendere il fenomeno della maturazione la cosa importante che non deve mai sfuggire è che non potrà mai entrare zucchero nella bacca se non entrerà al contempo acqua: ciò perché il trasporto floematico è un trasporto di massa. Lo zucchero si sposta insieme all'acqua: se non c'è trasporto d'acqua, non può essere trasportato neppure zucchero; se alla bacca arriva zucchero deve arrivare anche acqua.

Questo aspetto bisogna averlo chiaro, altrimenti si rischia di interpretare la maturazione dell'uva secondo fenomeni del tutto inconsistenti. L'acqua ovviamente può rimanere oppure può poi uscire dalla bacca attraverso la traspirazione. Durante la maturazione l'acqua dalla bacca non può più tornare indietro attraverso lo xilema come invece poteva fare prima dell'invaiaitura.

### **L'invaiaitura e la vascolarizzazione della bacca**

Come è noto l'invaiaitura è un fenomeno asincrono nel grappolo, cioè un grappolo per completare l'invaiaitura può impiegare anche una decina di giorni; in un vigneto, ove sono presenti migliaia di grappoli su centinaia di piante, il fenomeno è molto più lungo, analogamente a quanto accade per la fioritura. Questa foto di Markus Keller (Fig. 15) tratta da Gambetta et al. (2020) è didatticamente molto efficace. Essa mostra quello che avevano già fatto notare 35 anni fa Findlay et al. (1987): si tratta di un grappolo portato da una vite sottoposta ad un severo deficit idrico durante l'invaiaitura.

Si noti come le bacche non ancora invaiate appassiscano mentre quelle invaiate mantengono al turgidità, ciò perché le bacche non ancora invaiate hanno ancora lo xile-

ma funzionante e quando le foglie abbassano il loro potenziale idrico al di sotto del livello di quello delle bacche, esse cedono acqua alle foglie per traslocazione xilematica e perdono turgore.

**Figura 15**

**Differenti condizioni di turgore di bacche invaiate e non ancora invaiate in condizioni di forte deficit idrico della pianta (tratto da Gambetta et all., 2020)**



Quando avviene il fenomeno dell'invaia, per motivi che non sono ancora stati chiariti dal punto di vista anatomico, la bacca non è invece più in grado di avere un flusso inverso di acqua verso le foglie.

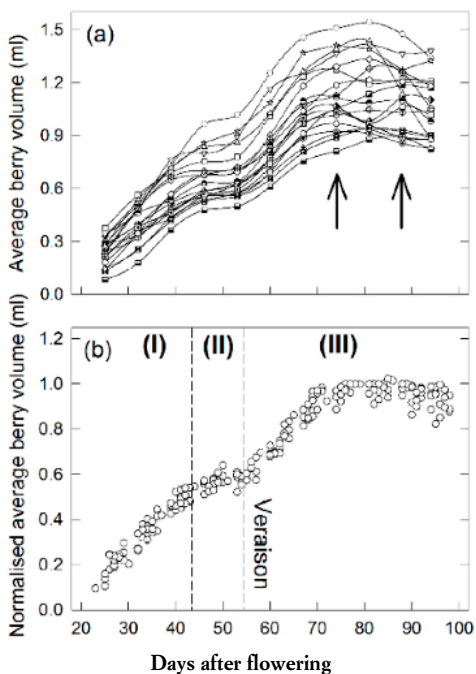
### **La curva a doppia sigmoide**

La figura 16 si riferisce all'esperimento realizzato misurando la crescita e analizzando le singole bacche (Sha-

hood et al., 2020). Nel grafico (a) è possibile notare come la dinamica di crescita di ciascuna bacca prima dell'invasatura segua una curva a sigmoide, seppure in maniera differente per intensità e persistenza della crescita. Ciò dipende da tanti fattori, compreso il numero di semi.

Dopo l'invasatura la crescita, sempre sigmoide, è invece vincolata dalla dimensione raggiunta all'invasatura. Quando queste curve vengono ricalibrate sulla dimensione massima della bacca posta uguale a uno, [grafico (b)], tutte le curve di crescita si sovrappongono sulla stessa curva a doppia sigmoide. Le due frecce riportate nella parte superiore della figura 3 indicano il range temporale nel quale le

**Figura 16**  
**Dinamiche di crescita di singole bacche (tratto da Shahood et al., 2020)**





bacche raggiungono il punto massimo di crescita.

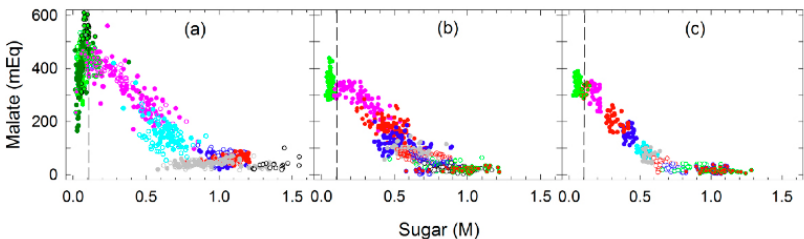
Le dinamiche di crescita delle bacche, dunque, se rappresentate in relazione al loro massimo sviluppo, risultano tutte sovrapponibili con la dimensione della bacca all'invasatura del 60% circa di quella massima.

### La degradazione dell'acido malico

Il grafico della figura 17, sempre tratto da Shahood et al. (2020), è stato costruito sulla base dei dati analitici delle singole bacche campionate a partire dalla pre-invasatura. La scala delle ascisse fa riferimento all'accumulo di zuccheri. La linea tratteggiata indica il momento del "softening" (ammorbidimento), o meglio della perdita di rigidità della bacca, che da rigida diviene elastica. Il softening della bacca come è noto è considerato l'inizio della fase di maturazione.

Figura 17

Dinamiche e variabilità nei livelli di malato e di zuccheri nelle bacche dalla pre-invasatura fino alla maturazione; i diversi colori corrispondono a grappoli campionati successivamente nella stagione; la linea tratteggiata corrisponde al momento di "softening" (tratto da Shahood et al., 2020).

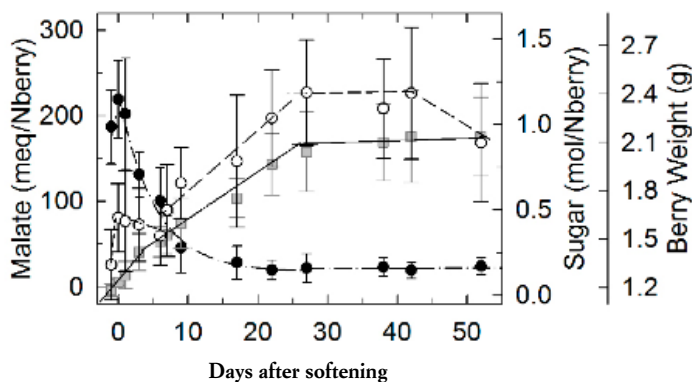


Si può notare come in pre-invaiatura vi siano quantità di acido malico estremamente variabili nelle bacche; ciò permane con l'inizio la maturazione ma con il progredire della stessa l'acido malico non mostra quasi più la variabilità, mentre gli zuccheri manifestano ancora grande variabilità.

### Uno schema generale per la maturazione

La figura 18 dà un quadro di sintesi dei fenomeni della maturazione (Shahood et al., 2020). Oltre i 20-22 giorni dopo l'invaiatura l'acido malico non viene più consumato.

**Figura 18**  
Dinamiche di degradazione del malato (●) zuccheri (□) e crescita della bacca (○); media ± DS (tratto da Shahood et al., 2020)



Il peso della bacca e gli zuccheri si stabilizzano invece successivamente e circa una dozzina di giorni dopo. Quando cessa la curva di crescita degli zuccheri termina anche la crescita. Questo aspetto è fondamentale. Durante la prima settimana la bacca accumula zuccheri in concentrazione e

in quantità; all'inizio la bacca non cresce ma accumula zuccheri dopodiché comincia a crescere.

### La caduta di turgore e l'aumento della traspirazione della bacca

Per proseguire nella comprensione del fenomeno dobbiamo ricordare che la crescita di una cellula vegetale richiede sempre una pressione di turgore positiva. Non c'è crescita senza turgore perché è il turgore che consente l'estensione delle pareti. Sappiamo peraltro che dopo l'invasatura c'è la perdita della selettività delle membrane delle cellule del mesocarpo. Si tratta però di una caduta di pressione che non porta a zero il turgore delle bacche come si riteneva una volta. Dopo la serie di misure fatte da Thomas et al. (2006) sappiamo che il potenziale di pressione si stabilizza intorno a 0,04 MPa, quindi una leggerissima pressione

Figura 19

Rappresentazione schematica del trasporto floematico con indicazione delle condizioni e delle variazioni del potenziale idrico e delle sue componenti



$$\Psi_s = -1,6 \text{ MPa}$$

$$\Psi_p = +0,6 \text{ MPa}$$

$$\Psi_w = -1,0 \text{ MPa}$$

$$\Psi_s = -0,50 / -4,00 \text{ MPa}$$

$$\Psi_p = +0,05 \text{ MPa}$$

$$\Psi_w = -0,45 / -3,95 \text{ MPa}$$

$$\Psi_s = -0,7 \text{ MPa}$$

$$\Psi_p = +0,3 \text{ MPa}$$

$$\Psi_w = -0,4 \text{ MPa}$$

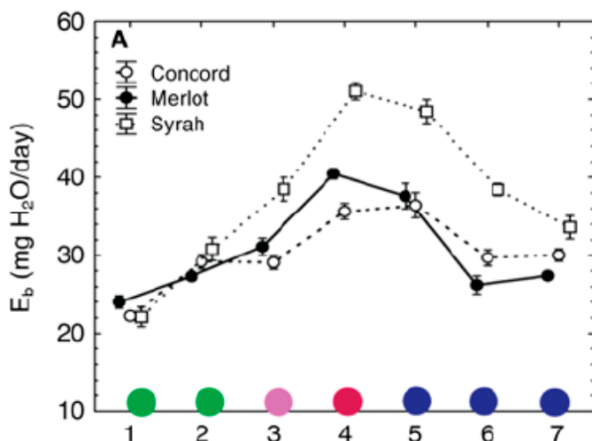
positiva sufficiente, peraltro, alla crescita per distensione.

La figura 19 riporta lo schema del famoso apparecchio di Ernst Münch (1876 - 1946), fisiologo tedesco autore dell'omonima teoria sul meccanismo del trasporto floematico, teoria che nonostante non sia completamente coerente non ha trovato finora una teoria migliore per spiegare il trasporto floematico che, ricordo ancora, è un trasporto di massa.

L'ampolla A rappresenta il floema nella foglia, quella B nella bacca. Accanto all'ampolla B è schematizzata la cellula del mesocarpo con il suo grande vacuolo. Sotto l'apparecchio di Münch sono riportate stime dei potenziali del soluto, di pressione e idrico dei tre compartimenti. Per la cellula del mesocarpo sono riportati i potenziali all'invaia-tura e alla maturazione.

Ricordo che lo scarico dell'acqua dal floema segue il gradiente di potenziale idrico e che quindi la caduta di

**Figura 20**  
**Dinamiche di traspirazione per bacca nel corso dello sviluppo e della maturazione dell'uva (tratto da Zhang e Keller, 2015)**



potenziale di turgore all'invaiaitura consente alla bacca di abbassare significativamente il proprio potenziale idrico e quindi intensificare lo scarico del floema. Come evidenziato dalla figura 20, un ulteriore aiuto allo scarico del floema viene dall'incremento della capacità traspirativa durante l'invaiaitura (Zhang e Keller, 2015). Tale incremento favorisce il rapido abbassamento del potenziale del soluto e quindi del potenziale idrico delle cellule della bacca, favorendo lo scarico del floema.

### **Il metabolismo dell'acido malico**

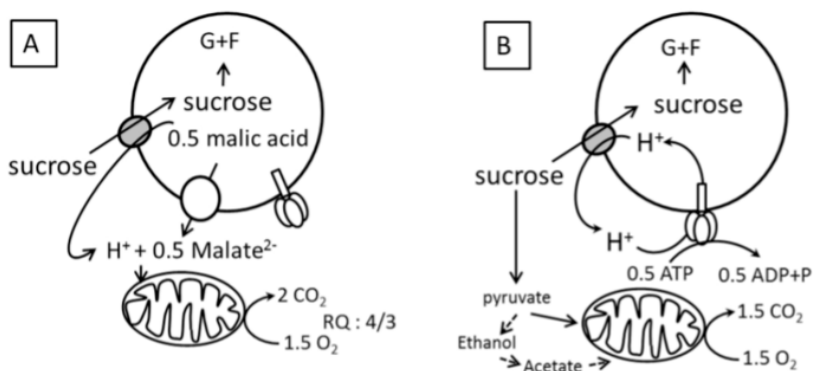
Un altro aspetto per comprendere questo fenomeno è riportato nella figura 21 che mostra ciò che accade nel vacuolo delle cellule del mesocarpo. Lo schema A si riferisce alla prima parte della maturazione. All'invaiaitura il tonoplasto perde la capacità di trattenere l'acido malico, che diffonde nel citoplasma; la diffusione dell'acido malico nel citoplasma consente di assorbire da parte del vacuolo il saccarosio, perché sostiene un antiporto con i protoni e quindi: esce un protone, esce il malato e il saccarosio entra nel vacuolo, dove poi viene idrolizzato in glucosio e fruttosio.

L'acido malico è però tossico nel citoplasma, perché lo acidificherebbe; quindi, il malato viene non solo ossidato, ma anche riassorbito nel vacuolo. Quello che non riesce ad essere ossidato e riassorbito dal tonoplasto grazie all'attività delle pompe protoniche, va in gluconeogenesi o in parte ossidato ma passando attraverso l'etanolo. Poi cosa succede?

Lo si vede nello schema B. Dopo 20 giorni finisce il consumo di acido malico, il cui livello si assesta in dipendenza del regime termico che si è verificato durante la maturazio-

**Figura 21**

**Modificazione del metabolismo energetico alla base del trasporto di zucchero nel vacuolo nel corso della maturazione (tratto da Shahood et al., 2020)**



ne, perché il processo di riassorbimento è dipendente dalla temperatura. Però il fatto è che il malico non viene più consumato. Come fa allora proseguire l'accumulo di zucchero? L'accumulo di zucchero prosegue perché si riattiva la glicolisi. Riattivandosi, la glicolisi produce l'ATP per far funzionare le pompe protoniche indispensabili per lo scarico del floema e l'accumulo dello zucchero nelle bacche.

### **Considerazioni conclusive**

Quali sono le conseguenze pratiche di tutto questo ragionamento sulla fisiologia della maturazione della bacca? Quando si campiona l'uva per stimare il livello di maturazione in prossimità della data di vendemmia, è necessario essere consapevoli che si campionano contemporaneamente bacche che sono arrivate a maturità, altre che sono in sovra-maturazione, altre ancora che stanno termi-

nando la crescita. È probabile che i nostri terroir debbano essere letti anche in termini di rapidità nell'invaiaatura. Se desideriamo avere una maturazione sincrona, anche perché ricordo che associato al metabolismo dell'accumulo di zucchero c'è tutto il metabolismo secondario, Shahood et al., (2020) suggeriscono di studiare i terroir e le tecniche di coltivazione in generale con un occhio particolare alla sincronia dell'invaiaatura.

## Maturazione delle bacche d'uva: reti regolative associate a processi endo- geni e fattori ambientali

*di Claudio Bonghi, DAFNAE, UNIPD*

### Premessa

La **maturazione del frutto** richiede una fine sincronizzazione di vari processi indipendenti che causano dal cambiamento di colore, innescato dalla degradazione della clorofilla e dall'accumulo di altri pigmenti (ad es. carotenoidi e antociani), al miglioramento del sapore a seguito della produzione di zuccheri, acidi e composti volatili fino al rammollimento della polpa promosso dal rimodellamento della parete cellulare. Tutti questi processi sono regolati spazio-temporalmente da un insieme interagente di fattori endogeni, genetici/epigenetici ed ambientali.

Il controllo della maturazione è, quindi, un processo dinamico coordinato dagli effetti di più ormoni e stimoli ambientali che si traducono in una serie di modifiche a livello molecolare, tra cui l'accessibilità della cromatina, la trascrizione, la traduzione e le modifiche post-traduzionali (Fenn e Giovannoni, 2021; Li et al., 2021). In quest'ultimi anni, lo studio della regolazione epigenetica della maturazione ha permesso una migliore comprensione dei cambiamenti trascrizionali che caratterizzano la maturazione chiarendo come le modifiche istoniche o la metilazione del DNA, i due principali meccanismi epigenetici, siano in grado di modificare l'accessibilità alla cromatina e il legame al DNA degli FT (Farinati et al., 2017; Tang et al., 2020).



## Il processo di maturazione della bacca d'uva

La maturazione della bacca d'uva avviene nella terza fase del processo di sviluppo del frutto e differisce significativamente, per i cambiamenti strutturali della bacca e il tipo di processi, da quelle che l'hanno preceduta e che la seguiranno (Kuhn et al., 2014) (Fig.22).

**Figura 22**  
**Durante la fase di maturazione avvengono profondi cambiamenti nella composizione della bacca con particolare riguardo agli ormoni**

**Cambiamenti chimico-fisiologico che avvengono durante la maturazione della bacca d'uva 2**



Durante la prima fase di sviluppo, la bacca aumenta notevolmente il suo volume ed il suo peso principalmente per processi di divisione cellulare. Questo è, infatti, il momento determinante per definire il volume finale dell'acino, poiché nelle fasi successive la dimensione della bacca dipenderà quasi esclusivamente dalla distensione cellulare. Durante questa fase aumentano i livelli di auxine (IAA),

gibberelline, e citochinine a seguito della loro maggiore biosintesi a livello dei vinaccioli. La fase erbacea è caratterizzata da un'intesa attività metabolica legata all'accumulo di acidi organici, in particolar modo acido malico e tartarico, con conseguente diminuzione del pH. A questa fase di intensa crescita segue una stasi dovuta principalmente al fatto che i vinaccioli hanno raggiunto la loro dimensione definitiva e cessano, quindi, di sintetizzare gli ormoni di crescita. Questa fase prende nome di invaiatura ed è caratterizzata dalla comparsa della colorazione rossa nella buccia delle cultivar a bacca nera, mentre nelle cultivar a bacca bianca la buccia assume un aspetto traslucido.

Dal punto di vista ormonale si assiste ad una caduta del livello dell'IAA libero, attraverso la sua coniugazione con acido aspartico, e ad un incremento dell'acido abscissico (ABA). Nella fase di invaiatura si registra anche la massima produzione di etilene. La presenza di questo ormone, seppur a bassi livelli, è essenziale per un corretto avanzamento della fase successiva. L'invaiatura è indicata come inizio della maturazione, sebbene, sia la terza fase quella che corrisponde alla maturazione propriamente detta. Nella terza fase l'accrescimento cellulare riprende ed è accompagnato da diverse modificazioni fisiologiche. L'attività respiratoria diminuisce, mentre l'attività enzimatica aumenta notevolmente.

Il processo è interessato da un aumento di glucidi (fruttosio, glucosio e saccarosio) nella bacca accompagnato da un aumento nel tenore di ABA e di Brassinosteroidi. Oltre all'accumulo di zuccheri, si assiste anche ad un aumento di cationi come il potassio, amminoacidi e composti fenolici, eventi affiancati da una diminuzione del contenuto di acidi organici, prevalentemente acido malico. Sia l'accumulo di glucidi che di composti fenolici nella bacca sembra essere

direttamente correlato alla presenza di ABA. La fase finale della maturazione sfocia, quindi, nella senescenza della bacca. Questa fase assume una particolare importanza per uve destinate a produrre speciali tipologie di vini come i passiti.

Da un punto di vista fisiologico la bacca d'uva è classificata come un frutto non climaterico (Fig.23) in quanto, differentemente dai frutti climaterici, non presenta un aumento dell'attività respiratoria e della produzione dell'etilene all'inizio della maturazione.

**Figura 23**  
**Processo di maturazione dell'uva**

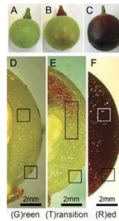
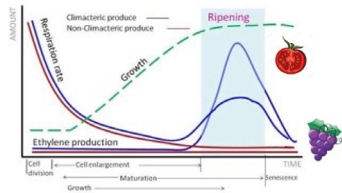
### Maturazione della bacca della vite

La bacca d'uva è un frutto non climaterico

È un processo molto lungo che dura circa 3 mesi in cui si verifica una profonda modificazione della composizione della bacca

E' fortemente condizionato dall'ambiente

Inizia nella polpa in prossimità della fine dello stilo



Castellarin et al., 2011

Tuttavia, studi che includono l'analisi comparativa dei dati genomici condotti nel pomodoro e nella fragola, rispettivamente indicati come modelli di frutto climaterici e non climaterici, mostrano che l'espressione di geni che

codificano per fattori di trascrizione (FT) associati alla maturazione e per i componenti della via di trasduzione dell'etilene sono eventi comuni ad entrambe le tipologie di frutto. Questa evidenza avvalorata l'ipotesi che il modello della maturazione da un punto di vista regolativo sia unico a prescindere dal comportamento fisiologico. Ciò che differenzia le diverse tipologie di frutto può essere la sensibilità agli ormoni che si è stabilita in modo differente nel corso dell'evoluzione il che non esclude, tuttavia, che a monte della sindrome maturativa si collochino elementi di regolazione comune.

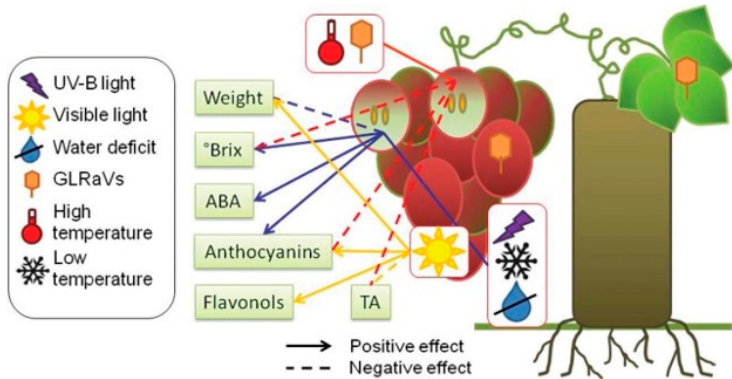
Un'ulteriore conferma di questa visione deriva da uno studio sull'effetto di trattamenti esogeni con etilene su bacca d'uva mature distaccate dalla pianta. Questi trattamenti aumentano l'estraibilità dei polifenoli (in particolare antociani) probabilmente attraverso una accelerazione del turnover parietale, una tipica risposta etilene-dipendente, e dimostrano che la bacca d'uva è in grado di rispondere all'etilene anche in una fase avanzata della maturazione (Botton et al., 2017).

La lunghezza del processo di maturazione, in qualche caso anche di 2-3 mesi dall'inizio dell'invasatura (si pensi alle uve tardive che sono raccolte a fine ottobre), è un altro aspetto che va riconsiderato con attenzione a fronte dell'intensificarsi dei fenomeni estremi che deve affrontare una bacca nel corso del suo sviluppo e maturazione. Molto spesso, nell'arco della stessa stagione una pianta di vite sperimenta nell'arco di breve tempo ondate di calore, bombe d'acqua e carenze idriche (Fig.24).

Figura 24

La maturazione è fortemente condizionata dai fattori ambientali

Fattori ambientali in grado di modificare parametri biochimici associati alla maturazione di bacche pigmentate



Nathalie Kuhn et al. J. Exp. Bot. 2013;ixb.er095

Tutti questi sono eventi che, al momento, sono stati studiati separatamente e, quindi, sappiamo ben poco degli effetti derivati dalla loro combinazione. Infatti, sono stati studiati l'impatto sulla maturazione delle condizioni della composizione dello spettro luminoso (ad es. una maggiore ricchezza in UV), della disponibilità idrica, delle variazioni della temperatura (vedi i fenomeni di scottatura della bacca o disseccamento del rachide), nonché quello di agenti patogeni. È assodato che deficit idrici moderati, radiazioni UV-B e basse temperature influiscono positivamente sulla maturazione aumentando il contenuto di solidi solubili totali e antociani, mentre alte temperature, bassa luminosità all'interno della chioma e agenti patogeni compromettono i processi associati alla maturazione. È interessante ricordare che alcuni di questi segnali sono associati a

variazioni del contenuto di ormoni che a loro volta influiscono sulla maturazione. Ad esempio, i livelli di ABA aumentano in risposta al deficit idrico e alle basse temperature e l'ABA, come some riportato, influisce positivamente sulla maturazione delle bacche.

Il ruolo degli ormoni nella regolazione della maturazione è indiscutibile, ma rimane ancora da chiarire da dove si origina il segnale (in parte di natura ormonale) che avvia il processo di maturazione. Vi sono studi che mostrano, in bacche di colore rosso, l'avvio dello sviluppo del colore nella porzione della loro polpa in prossimità della cicatrice dello stilo, vicino agli ovuli. Successivamente lo sviluppo del colore avviene nei tessuti verdi della polpa in prossimità del pedicello (Castellarin et al., 2011). Infine, il colore compare nei tessuti dell'epicarpo. La progressione della maturazione è, quindi, inizialmente basipeta e poi centrifuga. Resta da dimostrare se la progressione del colore sia correlata a variazioni delle concentrazioni di ormoni. Questa relazione è, tuttavia, difficilmente dimostrabile per i limiti tecnici imposti dalla quantità di materiale necessaria per determinare il contenuto degli ormoni.

Questa premessa permette adesso una migliore comprensione dell'apporto degli approcci omici alla conoscenza della maturazione della bacca d'uva.

## **Le omiche**

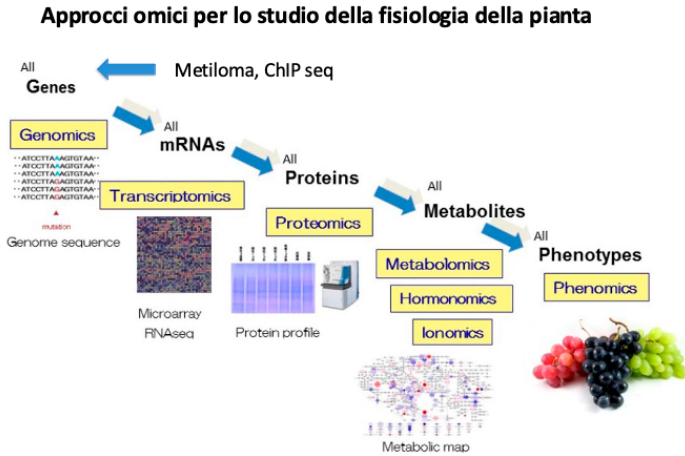
Nel 2007 sequenziamento del genoma della cv Pinot PN40024, è una rivoluzione! Con la versione V2 sono stati identificati oltre 40.000 geni, ma per quanti di essi esiste una caratterizzazione funzionale? Una percentuale molto modesta. Gran parte delle informazioni derivano dalle similarità strutturali individuate dal confronto con genomi

di piante modello (es. *Arabidopsis thaliana*). Tuttavia, la similarità strutturale non significa similarità funzionale. La semplice assegnazione di una serie di termini Gene Ontology (GO) a una proteina spesso non è sufficiente. Ad esempio, non fornisce necessariamente informazioni sul fatto che la proteina svolga questa funzione in tessuti specifici o in condizioni specifiche, il che è particolarmente importante per l'ontologia che definisce il processo biologico. Esperimenti di espressione genica hanno messo in evidenza che i geni possono cambiare i partner di co-espressione e i regolatori da tessuto a tessuto quando sono sotto stress o in diversi stadi di sviluppo.

Inoltre, sono note interazioni proteina-proteina tessuto-specifiche. In altre parole, sebbene una proteina possa essere coinvolta in molteplici processi biologici, non deve eseguire tutte queste funzioni in ogni momento. Questa osservazione ha due implicazioni. Da un lato, sarà difficile convalidare le annotazioni previste quando non è noto per quali tessuti o tipi cellulari la proteina svolga una specifica funzione. Dall'altra parte, per poter scoprire queste funzioni, abbiamo bisogno di informazioni specifiche sul tessuto o sul tipo di cellula dell'attività della proteina. Ecco, quindi che altri approcci omici sono necessari per chiarire complessi processi fisiologici come la maturazione (Yang et al., 2021). L'integrazione del modello multi-omico permette di collegare il genotipo al fenotipo. Infatti, **la genomica** indica il genotipo che determina i tratti del fenotipo attraverso lo studio su larga scala del **trascrittoma**, **proteoma**, **metaboloma** e **ionoma** (Fig.25).

Figura 25

Le scienze omiche aiutano a descrivere i processi di maturazione



La **trascrittomica** studia l'insieme completo dei trascritti che sono prodotti dal genoma di un organismo in una cellula o in un tessuto. La trascrittomica che si occupa di determinare il profilo del trascrittoma è emersa come una tecnica promettente per analizzare la dinamica dell'espressione genica in risposta a qualsiasi stimolo in un certo periodo di tempo. Inizialmente, la dinamica del trascrittoma è stata analizzata utilizzando tecniche come cDNA-AFLP e PCR differenziale, ma queste tecniche fornivano una bassa risoluzione del trascrittoma. Questo limite è stato superato con l'introduzione di tecniche come microarray, ma soprattutto con l'evoluzione della tecnica di sequenziamento massale (RNAseq). La **proteomica** è una tecnica che mira alla profilazione della proteina totale espressa in un organismo e consta di quattro parti diverse: la prote-



omica di sequenza, strutturale, funzionale e di espressione. La proteomica di sequenza determina le sequenze di amminoacidi che vengono solitamente identificate in sequenza utilizzando la cromatografia liquida ad alte prestazioni. La proteomica strutturale si occupa della struttura delle proteine per comprendere le loro presunte funzioni. La proteomica strutturale può essere effettuata attraverso diversi approcci, come la modellazione computerizzata e metodi sperimentali, tra cui la risonanza magnetica nucleare (NMR), la cristallizzazione, la microscopia elettronica e la diffrazione dei raggi X di cristalli proteici.

La proteomica funzionale determina le funzioni di una proteina e tali funzioni vengono esaminate attraverso vari metodi, come i microarray proteici. La **metabolomica** è definita come lo studio completo dei metaboliti, attraverso la spettrometria di massa (MS), che partecipano a diversi eventi cellulari in un sistema biologico. Questa tecnica in combinazione con il sequenziamento del genoma ha fornito una base per prevedere le reti metaboliche di un organismo a partire da una sequenza del suo genoma. La **ionomica**, infine, comprende la misurazione quantitativa, attraverso la spettrometria di massa a plasma accoppiato induttivamente (IPC-MS), della composizione elementare di un organismo e identifica i cambiamenti nella composizione minerale innescati da vari stimoli fisiologici, modificazioni genetiche o condizioni di sviluppo.

Ulteriore elemento di complicazione deriva dal fatto che modifiche del profilo del trascrittoma e conseguentemente del proteoma e dal metaboloma non dipende unicamente dal genoma, ma anche da cambiamenti ereditabili diversi da quelli nella sequenza del DNA. Questi cambiamenti sono chiamati epigenetici e sono provocati dalla metilazione del DNA, dalla modifica post-traduzionale (PTM) de-

gli istoni e da RNA non codificanti (Gallusci et al., 2017; Farinati et al., 2020). La fusione di epigenetica e genomica, nota come epigenomica, ha portato ad una nuova tecnica omica che mira a migliorare la comprensione della regolazione genetica e del suo contributo alla crescita cellulare e alle risposte allo stress. A differenza della genomica, l'epigenomica può essere influenzata da fattori ambientali, inclusi lo stress abiotico e biotico.

La tecnica di sequenziamento basata sul bisolfito permette di identificare lo stato di metilazione del DNA del genoma, mentre il sequenziamento massale del DNA contenuto nella cromatina immunoprecipitata (ChIP-Seq) è un approccio che permette per identificare i siti di legame di una proteina di interesse. Proteina che può essere: (i) un istone; (ii) un fattore di trascrizione; (iii) una qualsiasi altra proteina nucleare. Il sequenziamento massale viene impiegato anche per l'identificazione di RNA non codificanti. Tra gli RNA non codificanti un ruolo sempre più importante dal punto di vista regolativo è assegnato ai microRNA (miRNA). I miRNA sono RNA non codificanti di una lunghezza compresa tra 18 e 25 nucleotidi e che regolano a livello post-trascrizionale l'espressione genica.

I miRNA sono coinvolti nel meccanismo di interferenza dell'RNA (RNAi) legandosi alle regioni non tradotte (UTR) dell'mRNA per sopprimere la loro traduzione in proteine. Si ritiene che una larga parte dei geni di un organismo (nell'uomo oltre il 30%) sia il bersaglio dei miRNA, il che significa che i miRNA hanno un impatto globale sui trascrittomi e sui proteomi degli eucarioti. I miRNA possono agire come modulatori epigenetici agendo sugli enzimi responsabili delle reazioni epigenetiche come le DNA metiltransferasi, l'istone deacetilasi e l'istone metiltransferasi. Inoltre, l'espressione dei miRNA è regolata anche da

macchinari epigenetici, tra cui la metilazione del DNA e le modifiche istoniche.

L'adozione delle tecniche omiche permette e promette indubbi avanzamenti delle conoscenze su fenomeni biologici complessi, ma comporta nuove sfide di non facile superamento. La gestione, l'elaborazione, l'aggiornamento, la diffusione e l'integrazione dei dati sono le principali aree che in questo momento rappresentano quello che in lingua inglese si definisce "*bottleneck*", cioè il collo di bottiglia che limita l'efficacia dell'uso delle omiche. La presenza di "*bottlenecks*" causa due problemi principali in apparenza contrastanti: 1) la diffusione di dataset mal curati, ancora sotto forma di raccolte grezze o risultati di bozze preliminari, e 2) il rapido aggiornamento delle informazioni che, di conseguenza, influiscono sulla creazione di risorse stabili e affidabili. Questi problemi sono principalmente causati dalla minore velocità della bioinformatica nell'estrarre informazioni dalla grande quantità di dati rispetto a quella delle tecnologie adottate per la produzione dei dati.

### **L'applicazione delle omiche per lo studio della maturazione della bacca d'uva**

Per valutare l'interesse della comunità scientifica verso l'approccio omico per lo studio della maturazione della bacca d'uva, e in particolare di quello trascrittomico, basta un dato: 2300 lavori nell'arco di 10 anni (Serrano et al., 2017; Falchi et al., 2019).

L'insieme di questi lavori ha permesso di stabilire alcuni capisaldi:

- a) Il raggiungimento della piena maturazione avviene con tempistiche diverse all'interno del grappolo,
- b) in buccia e polpa la progressione della maturazione ha

tempistiche differenziate ed è accompagnata dall'attivazione di vie metaboliche tessuto-specifiche;

c) il concetto «*switch genes*» ovvero dei geni coinvolti nel controllo dell'inizio del processo di maturazione;

d) la plasticità della bacca: il controllo dell'ambiente sulla maturazione della bacca;

e) il controllo genico nella fase di post-raccolta: il caso delle bacche disidratate

**a) Il raggiungimento della piena maturazione avviene con tempistiche diverse all'interno del grappolo.**

Nella vite, il programma di maturazione dei frutti dura circa 60 giorni dall'invasatura alla maturità e gli acini di un grappolo sono generalmente programmati per completare il programma contemporaneamente. Tuttavia, gli acini in un grappolo all'invasatura entrano nel programma di maturazione in modo asincrono, determinando la comparsa di diversi fenotipi di maturazione (ad es. in termini di livelli di zucchero e pigmenti) che differiscono per lo sviluppo fino a due settimane.

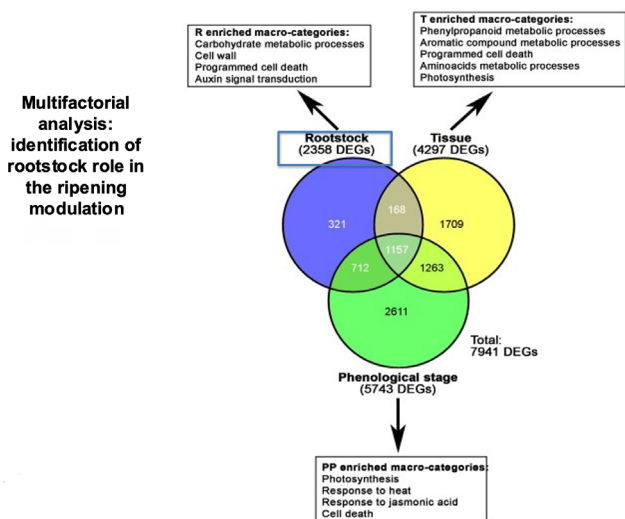
Successivamente gli acini tendono a sincronizzare il loro sviluppo e le differenze si riducono fino a quasi non essere osservabili nella bacca matura. L'entità della sincronizzazione metabolica sembra dipendere dal genotipo, dalle condizioni ambientali e dalla dinamica ormonale endogena. Queste osservazioni indicano che il programma di maturazione è flessibile e alcuni dei suoi aspetti, compreso la velocità della progressione della maturazione, possono essere modulati in base a fattori ambientali. Tuttavia, per semplificare il piano sperimentale gli studi sullo sviluppo e maturazione dell'uva si sono concentrati sulle differenze tra i diversi stadi di maturazione dei grappoli partendo dall'assunto che tutti gli acini possiedano la stessa durata del programma di maturazione, indipendentemente dalle

differenze nei loro tempi di inizio della maturazione. Questa assunzione non si è rivelata corretta poiché nelle bacche che iniziano in ritardo la maturazione è stato osservato il completamento del programma trascrizionale in un tempo più breve (Gouthu et al., 2014). La maggiore velocità di progressione fisiologica della maturazione avviene attraverso una profonda riprogrammazione della trascrizione e delle dinamiche ormonali. Questa relazione è confermata da studi condotti con l'uso dell'acido naftalenacetico (NAA), una IAA sintetica.

Infatti, l'applicazione dell'NAA, durante la fase pre-invaiaitura, causa cambiamenti nell'espressione dei geni correlati all'IAA e all'ABA che comportano un ritardo nell'inizio della maturazione, un aumento della velocità di crescita in post-invaiaitura e una ridotta variabilità dei livelli di zucchero tra le bacche di un grappolo. È stato ipotizzato che l'applicazione di NAA perturbi il naturale declino di IAA negli acini più maturi ritardando la coniugazione di questa con gli amminoacidi (Ziliotto et al., 2012). Il conseguente rallentamento della maturazione degli acini più maturi riduce la variabilità tra acini poco maturi e più maturi. Sulla base di questa osservazione, un fattore di accelerazione della maturazione può essere un declino differenziato dell'IAA e la sua possibile influenza sulla dinamica dell'ABA negli acini poco maturi. Un meccanismo simile può essere ipotizzato per spiegare la relazione diretta tra la vigoria del portainnesto e la lunghezza della fase di maturazione (Corso et al., 2016). Uve ottenute di Cabernet Sauvignon (CS) innestato su M4 e 1103P, due portainnesti con differente grado di vigoria, mostrano progressione della maturazione più veloce quando CS è innestato su M4, il portainnesto meno vigoroso. Un'analisi multifattoriale eseguita sui dati RNA-Seq ottenuti dalla

buccia e dalla polpa delle bacche coltivate in entrambe le combinazioni di innesto ha rivelato che i geni che controllano l'azione dell'IAA rappresentano una delle principali categorie geniche modulate dal portainnesto (Fig.26).

**Figura 26**  
**Analisi multifattoriale: il ruolo del portainnesto durante la maturazione**



**b) In buccia e polpa la progressione della maturazione è differente ed accompagnata dall'attivazione di vie metaboliche tessuto-specifiche.**

Anche se è alquanto probabile che lo sviluppo della polpa e della buccia e la loro maturazione siano co-regolate nell'attuazione del programma sviluppo della bacca, le diverse funzioni di polpa e buccia suggeriscono che esse devono essere sede di programmi di sviluppo specifici. Infatti, fattori ambientali come gli aumenti di temperatu-

ra legati ai cambiamenti climatici possono disaccoppiare i processi di maturazione della polpa e della buccia. Lo spegnimento dei percorsi metabolici associati alla fase erbacea è un tratto comune del pericarpo, ma sembra che esso avvenga più rapidamente nella polpa che nella buccia. Inoltre, la maturazione della buccia può essere considerata un processo più complesso in considerazione del maggior numero di categorie funzionali attivate durante la maturazione di questo tessuto. Questa maggiore complessità, almeno in termini di espressione genica, è supportata non solo dall'identificazione di processi attivati più specificamente nella buccia come la biosintesi degli stilbenoidi o il trasporto di altre macromolecole, ma anche dal maggior accumulo nella buccia di trascritti comuni ai due tessuti, come quelli dei geni coinvolti nella biosintesi degli antociani (Lijavetzky et al., 2012).

Detto questo una domanda sorge spontanea. Mi posso affidare solo all'analisi del succo derivato dalla polpa per stabilire l'epoca di raccolta? La risposta, sulla base di quanto appena esposto, è negativa. Sarebbe opportuno abbinare più indici di maturazione per ricavare una corretta visione dello stato di maturità raggiunto. In particolare, l'analisi sensoriale delle uve può essere estremamente utile perché oltre all'indicazione del livello di dolcezza e di acidità consente, attraverso la masticazione della buccia, di stabilire il livello polifenoli e la loro maturità. Quando l'uva matura, i tannini della buccia polimerizzano passando da molecole a catena corta a molecole a catena lunga. Con la pratica, in particolare con le cultivar rosse, questo cambiamento può essere rilevato con la lingua. Infatti, i tannini "immaturi" non polimerizzati provocano, quando si legano con le proteine salivari, una perdita di salivazione, mentre i tannini "maturi" polimerizzati hanno un minor

legame con le proteine salivari.

**c) Il concetto «*switch genes*» ovvero dei geni coinvolti nel controllo dell’inizio del processo di maturazione.**

L’inizio della maturazione è caratterizzato da notevoli modifiche di varie vie metaboliche che risultano associate ad una vasta riprogrammazione del trascrittoma, evento necessario per portare l’acino nella fase di maturazione (Fasoli et al., 2014). È stato osservato che all’invaiaitura il numero di geni che viene represso è maggiore di quelli indotti, suggerendo che la transizione alla maturazione richieda soprattutto una soppressione dei processi metabolici attivi nella bacca immatura piuttosto che l’attivazione di processi legati specificatamente alla maturazione.

Tuttavia, il numero di geni coinvolti nell’avvio della maturazione rimane ancora troppo elevato e risulta difficile individuare quali siano i principali attori della transizione verso il frutto maturo. Per cercare di fornire delle indicazioni su essi si è ricorsi ad un approccio bioinformativo denominato “*network analysis*”, tra cui quella definita “*weighted gene co-expression network analysis*” (WGCNA). La WGCNA si basa sull’assunto che tutti i geni sono connessi e la solidità della loro connessione è quantificata dalla correlazione tra i profili di espressione di coppie di geni. Utilizzando l’algoritmo WGCNA, i geni con modelli di co-espressione simili sono classificati in un insieme di moduli, in cui i geni più fortemente connessi sono ulteriormente identificati come “*hub genes*”.

L’applicazione di approcci di “*network analysis*” ai dataset relativi ai trascrittomi di bacche d’uva in varie fasi di sviluppo ha premesso di identificare vari “*hub genes*” al cui interno è stata isolata una subcategoria, denominata “*switch genes*”, che probabilmente codificano i regolatori chiave della transizione tra la fase immatura e quella ma-



tura della bacca (Palumbo et al., 2014). Questi geni sono stati espressi a bassi livelli nei tessuti immaturi, mentre la loro espressione aumenta significativamente nei frutti in maturazione. Inoltre, sono inversamente correlati con molti geni che sono sottoespressi durante la transizione verso la maturazione.

Questo comportamento suggerisce che potrebbero svolgere un ruolo chiave nella soppressione delle vie metaboliche attive nei frutti maturi. Gli “*switch genes*” includono diversi TF, che ragionevolmente si possono considerare come i regolatori più importanti della transizione alla maturazione.

Questi TF co-regolano l'espressione di geni coinvolti nelle principali modifiche biochimiche e strutturali associate alla maturazione come l'aumento dei polifenoli e la dimensione e forma delle bacche attraverso una rete di interazione molto articolata. Tra questi un ruolo importante è assunto da alcuni membri della famiglia di TF nota con il nome di NAC. L'importanza di geni NAC nella maturazione del frutto è stata descritta per la prima volta in mutanti di pomodoro per i geni NAC e che mostravano frutti che non erano in grado di portare a compimento la maturazione (Liu et al., 2022). Dalla letteratura è noto che i geni NAC sono target di microRNA, cioè piccole molecole di RNA non codificanti che regolano negativamente, a livello post-trascrizionale, l'espressione di un gene.

L'aspetto interessante che i miRNA aventi come bersaglio i NAC diminuiscono la loro presenza durante la transizione e, quindi, gli mRNA codificanti i NAC conseguentemente aumentano. È probabile che parallelamente aumenti la presenza dei miRNA aventi come bersagli geni associati ai processi tipici della bacca immatura (Guo et al., 2018).

**d) La plasticità della bacca: il controllo dell'ambiente sulla maturazione della bacca.**

La plasticità fenotipica si riferisce alla gamma di fenotipi che un singolo genotipo può esprimere in funzione del suo ambiente. Queste variazioni fenotipiche sono attribuibili all'effetto dell'ambiente sull'espressione e sulla funzione dei geni. Uno dei primi lavori che ha studiato la plasticità fenotipica nella vite ha confrontato, per tre stagioni vegetative consecutive, il trascrittoma della bacca di un singolo clone di Corvina coltivato in undici diversi vigneti nell'area di Verona. I dati mettono in evidenza che l'invaiaatura è un periodo cruciale per quanto concerne la plasticità trascrittomica e sul quale è l'annata di coltivazione (intesa come clima stagionale) che esercita il maggiore effetto, mentre il microambiente e le pratiche agronomiche hanno solo un impatto marginale (Del Santo et al., 2013). Questi risultati sono confermati anche da altri esperimenti che hanno aggiunto altre interessanti informazioni.

In particolare, quelli derivati dal confronto, in due stagioni consecutive, dei trascrittomi di due genotipi diversi, Cabernet Sauvignon e Sangiovese, coltivati in tre differenti ambienti (due in Toscana ed uno in Emilia-Romagna, Del Santo et al., 2016). In questo caso sono state presi in considerazione quattro differenti stadi di sviluppo: bacca della dimensione di un pisello, in preinvaiaatura, in post-invaiaatura e a maturazione. I geni che sono influenzati dall'interazione del genotipo con l'ambiente mostravano la maggiore plasticità nella fase di maturazione e, in particolar modo, nelle bacche di Sangiovese. Le caratteristiche delle bacche di CS erano meno dipendenti dalle condizioni di crescita e, di conseguenza, il trascrittoma è rimasto più stabile nelle annate e nei luoghi, suggerendo che la plasticità limitata del CS potrebbe essere alla base del successo di

questa cultivar in diverse parti del mondo. La differenza di plasticità tra i due genotipi sembra essere, inoltre, dipendente da meccanismi epigenetici come suggerisce l'analisi della metilazione del DNA dei microRNA. Quest'ultimi sembra abbiano un effetto tampone sulla plasticità trascrittomica nella cultivar CS a riconferma della sua ampia area di coltivazione.

**e) Il controllo genico nella fase di post-raccolta: il caso delle bacche disidratate.**

Nell'ambito delle diverse tipologie di vino stanno riscontrando un crescente interesse i vini ottenuti da uve parzialmente disidratate in post-raccolta o sovrarmaturate in pianta. La disidratazione della bacca determina la concentrazione dei soluti, come zuccheri e minerali, e modificazioni degli acidi organici, dei composti aromatici e dei composti fenolici. Questi cambiamenti influenzano positivamente anche le caratteristiche organolettiche dei vini derivati da queste uve. L'intensità e la velocità di disidratazione sembrano tra i fattori più importanti nel modulare il metabolismo della bacca d'uva.

Indagini trascrittomiche e metabolomiche condotte su uve di diversi genotipi sottoposte a disidratazione in condizioni controllate hanno messo in evidenza che la modulazione del metabolismo dei fenilpropanoidi è chiaramente distinta su base genotipica, con l'accumulo di stilbene come principale evento metabolico, sebbene l'accumulo/deplezione transitoria di antociani e flavonoli è la variazione prevalente nei genotipi che non accumulano stilbeni. Oltre alle risposte specifiche del genotipo, un insieme di geni è costantemente modulato in tutti i genotipi e questi sono responsabili degli eventi comuni (come le risposte legate alla difesa, gli stress ossidativi e il metabolismo parietale) presenti nelle bacche che subiscono

disidratazione e/o che iniziano la senescenza (Zenoni et al., 2016). Se invece le uve sono sottoposte a diverse tecniche di disidratazione (fruttaio o cella condizionata) non si notano differenze significative sul contenuto finale di polifenoli, sebbene questo si raggiunga con dinamiche diverse: più veloce nel fruttaio rispetto alla cella condizionata. Questo andamento è parallelo a quanto osservato per i trascritti dei geni coinvolti nella via metabolica dei fenilpropanoidi. Oltre alla regolazione della biosintesi, un ruolo importante sul contenuto dei polifenoli è giocato dagli enzimi del metabolismo ossidativo.

L'attività delle polifenolossidasi (PPO), uno dei principali enzimi coinvolti nella ossidazione delle sostanze fenoliche, aumenta all'inizio sia nell'appassimento naturale sia in quello forzato; successivamente, solo nell'uva appassita in fruttaio l'attività enzimatica decresce velocemente fino ad annullarsi. Tutto questo porta ad un profilo polifenolico diverso delle uve e, quindi, a vini diversi (Rizzini et al., 2009).

### **Maturazione e cambiamenti climatici**

Negli ultimi due decenni l'aumento costante della temperatura ha determinato importanti cambiamenti nella durata temporale delle fasi fenologiche di numerose specie, tra cui la vite. L'aumento delle temperature nell'emisfero Nord ha portato ad un anticipo della vendemmia in Europa pari a oltre due settimane. Questo anticipo porterebbe come conseguenza il verificarsi della maturazione in periodi con temperature più elevate. Nella fase di maturazione, gli acini sono particolarmente suscettibili alle scottature solari quindi, il cambiamento climatico potrebbe aggravare i rischi di scottature solari delle bacche. I sintomi delle scottature

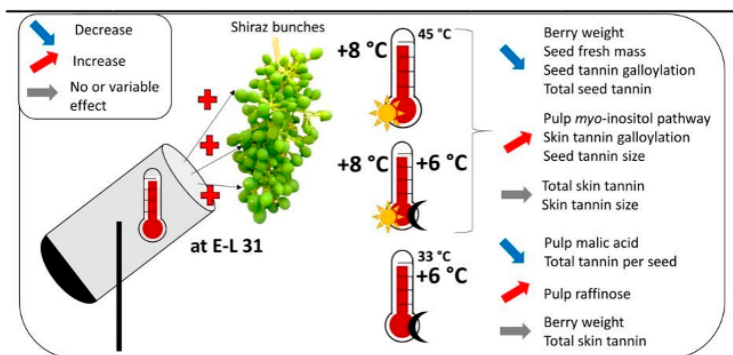
(come il raggrinzimento della bacca) e diventano visibili da dopo l'invaiaatura. È interessante notare che all'invaiaatura, con sintomi ancora non visibili gli “*switch genes*”, precedentemente discussi, sono debolmente accumulati nelle bacche che successivamente svilupperanno danni da scottature (Savoi, et al., 2019). In altri termini, l'avvio della maturazione nelle bacche che sono soggette a scottature appare in ritardo e con esso tutte le modifiche compositive correlate come ad es. l'accumulo di carboidrati.

L'effetto delle ondate di calore sui grappoli, tuttavia, è difficile da studiare in pieno campo poiché non si riesce a isolare l'effetto termico dovuto a diverse esposizioni alla luce dei grappoli. La possibilità di condurre sperimentazioni in ambiente controllato e di indirizzare le ondate di calore solo sui grappoli ha permesso di stabilire che, durante la fase erbacea, le alte temperature riducono il peso della bacca e alterano la composizione e il peso dei semi (Gouot et al., 2019). Questo effetto si osserva solo con ondate di calore effettuate durante il giorno, mentre se si verificano di notte il peso della bacca il contenuto di tannini dei semi non varia.

Gli effetti delle ondate di calore sono stati studiati anche in termini proteomici (Lecourieux et al., 2020). A seguito della sperimentazione di alte temperature sono state osservate quasi 600 proteine differenzialmente accumulate, sebbene il numero di trascritti che mostrano variazioni di accumulo siano nettamente superiori. Questo dato indica che non esiste una correlazione diretta tra il trascrittoma e il proteoma quando la bacca è sottoposta a stress termici, mentre suggerisce un maggiore coinvolgimento della regolazione post-trascrizionale (es. azione di microRNA, fosforilazione/defosforilazione di proteine) a seguito di stress da calore (Fig.27).

Figura 27  
Cambiamenti climatici: effetti delle ondate di caldo

**Effetto di ondate di calore (20gg dopo fioritura)**



Guot et al., 2019

Gli stress idrici controllati (RDI), sono un nuovo tipo di tecnica di irrigazione che consente un significativo risparmio idrico e che ben si adattava alle aree coltivate a vite aride e semi-aride. E' noto che situazioni di stress idrico sono accompagnate da variazioni significative del livello endogeno di vari ormoni tra cui, in primis, l'ABA e di metaboliti primari come i carboidrati. Analisi del trascrittoma e metaboloma hanno confermato che un gran numero di geni e metaboliti sono differenzialmente modulati da RDI. L' applicazione di RDI determina l'aumento del contenuto di antocianine e anche dell'accumulo di trascritti codificanti per geni coinvolti nella loro via biosintetica. È interessante far notare che l'espressione della maggior parte dei geni è modulata positivamente da ABA e da saccarosio (Bohan et al., 2020). Inoltre, è stato osservato che irradiazione con raggi UV-B e RDI applicati in una stagione, potrebbero indurre variabilità epigenetica (in termini di stato

di metilazione del DNA) che contribuisce alla definizione della composizione biochimica della bacca, in particolare il contenuto e tipo di polifenoli, nella stagione successiva (Marfil et al., 2019).

Abbiamo visto che le variazioni di livelli di intensità e tipo luce, di regimi termici e disponibilità idrica in grado di modificare in maniera significativa l'evoluzione della maturazione e con essa la composizione della bacca agiscono anche su base giornaliera. Questi effetti della variabilità ambientale sulla maturazione dell'uva dipendono, almeno in parte, dai cambiamenti a livello di espressione genica. Si può, quindi, ragionevolmente ipotizzare che le oscillazioni giornaliere di questi fattori climatici possono determinare fluttuazioni del trascrittoma della bacca d'uva su base circadiana.

Infatti, esistono numerose evidenze che suggeriscono un importante ruolo regolativo dell'orologio circadiano della pianta, attuato attraverso i geni che lo compongono (in gran parte FT), sui meccanismi fisiologici e di sviluppo della pianta da attivare al momento giusto della giornata o della stagione come la fotosintesi, il metabolismo dell'amido e dell'azoto, la crescita, l'acclimatazione al freddo, la dormienza delle gemme, il tempo di fioritura, la formazione di tuberi o gli stomi e i movimenti degli organi. Recentemente stanno emergendo evidenze di regolazioni circadiane anche per la maturazione dei frutti, in particolar modo per la composizione della bacca matura delle cv Tempranillo e Verdejo (Carbonell-Bejerano et al., 2014). Su queste uve sono state osservate rispettivamente variazioni su base circadiana, con attivazioni nelle ore diurne, dei trascritti di geni codificanti coinvolti nella via fenilpropanoidi e di FT ad essi correlati (geni MYB) e dei geni della biosintesi dei terpenoidi. A fronte di questo

sono stati osservati scarsi effetti sul metabolismo primario con l'eccezione del maggiore accumulo dei trascritti di due trasportatori vacuolari, aventi una probabile funzione nell'importazione di acidi organici nel vacuolo. Il maggiore accumulo dei trascritti di questi due geni si è osservato intorno a mezzogiorno nelle bacche di Tempranillo e sembra funzionale a contrastare gli effetti delle alte temperature sulla metabolizzazione dell'acido malico.

Oltre a questi effetti sulla composizione della bacca è interessante notare che la sperimentazione di alte temperature durante il giorno induce l'espressione di Heat Shock Protein, (HSP), delle chaperonine che preservano le proteine dalla denaturazione dovuta alle alte temperature. I cambiamenti trascrizionali legati alle risposte allo stress biotico, invece, sono attivati durante la notte e in misura maggiore nei campioni che includono la buccia delle bacche mature. L'induzione della resistenza nelle bucce di bacche mature ai patogeni fungini avviene poco prima dell'alba. Questo dato è interessante poiché l'alba è il momento in cui, per condizioni igrotermiche, un patogeno fungino normalmente disperde le spore e la bacca matura presenta una maggiore suscettibilità ai patogeni di quella immatura. Al contrario, l'attivazione di vie di difesa contro i virus avviene nelle ore più calde della giornata in concomitanza con la maggiore attività dei virus vegetali.

## **Conclusioni**

Con questo siamo arrivati ai famosi “*take-home messages*”, cioè cosa potete portarvi a casa da questo seminario:

- 1) Le nuove tecnologie hanno prodotto una massa di dati imponenti. Come è stato anticipato il collo di bottiglia nel loro utilizzo è la capacità di interpretarli. Questo ren-

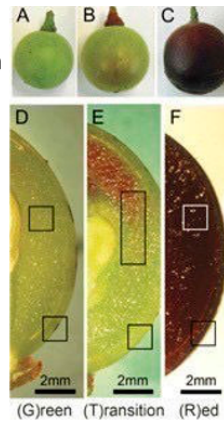


de ancora necessaria una stretta interazione tra gruppi di agronomi, fisiologici vegetali e genetisti, ingegneri hardware e software e gestori di dati (Fig.28).

**Figura 28**

**Le nuove tecnologie ci permetteranno di gestire il processo di maturazione grazie alla conoscenza di una grande quantità di dati**

- ❖ Le nuove tecnologie hanno prodotto una massa di dati imponenti. Il collo di bottiglia nel loro utilizzo è la capacità di interpretarli
- ❖ L'intricata rete regolativa che opera durante la maturazione si sta dipanando e il pool di geni (*switch genes*) la cui espressione segna l'inizio della maturazione sono stati individuati sulla base della loro espressione
- ❖ Sono iniziati studi funzionali per identificare la funzione di questi geni



2) Tali sforzi congiunti inizialmente erano possibili solo in istituti specializzati e gruppi di lavoro multidisciplinari. Oggi, reti e iniziative nazionali e internazionali svolgono un ruolo sempre più importante e forniscono un nucleo che collega le diverse competenze necessarie. Questo sforzo integrato produrrà una migliore fenotipizzazione delle piante migliorando la nostra comprensione dell'interazione tra piante e ambiente, che è fondamentale per affrontare le grandi sfide future.

3) L'intricata rete regolativa che opera durante la maturazione si sta dipanando e il pool di geni (*switch genes*) la cui espressione segna l'inizio della maturazione sono stati individuati sulla base della loro espressione. Particolar-

mente intrigante sembra il ruolo dei NAC e recentemente uno di questi, indicato come CARPO, complementa (cioè ristabilisce il fenotipo normale) un mutante di pomodoro con maturazione bloccata (NORIPENING, NOR). È stato ipotizzato che CARPO sia uno dei principali regolatori della transizione alla fase di maturità della bacca d'uva in quanto in grado di attivare il metabolismo secondario, la degradazione della clorofilla, il metabolismo degli ormoni, la difesa e i geni correlati alla apoptosi (D'Inca et al., 2021).

Cosa resta ancora da fare? Investigare sul ruolo delle modifiche epigenetiche sul controllo dell'espressione genica durante la maturazione. Molte ed interessanti conoscenze potrebbero emergere da questi studi. Il ruolo dei microRNA nella regolazione della maturazione è oramai un dato acquisito in molte specie, ma essi sembrano essere coinvolti anche come molecole segnale nei rapporti che si instaurano nelle combinazioni d'innesto, di cui la vite rappresenta un esempio paradigmatico (Rasool et al., 2020). È pertanto plausibile supporre che anche la maturazione della bacca possa essere modulata dal portainnesto attraverso i microRNA propri o la regolazione dell'espressione di quelli prodotti a livello del frutto.

Altro meccanismo epigenetico che sembra essere particolarmente interessante è la metilazione del DNA come possibile fonte della variabilità fenotipica tra cloni di vite a seguito della coltivazione in vari ambienti (Varela et al., 2021). Questi studi sono ancora nella fase iniziale per cui sono richiesti studi empirici in contesti produttivi e su lunghi periodi di tempo per comprendere la dinamica e l'importanza adattativa della variazione epigenetica e il suo effetto sul fenotipo.

# Modelli previsionali nella fenologia della vite e in particolare nella maturazione

di Luigi Mariani, Università degli Studi di Brescia

## Alcune definizioni

Il titolo evidenzia alcuni concetti che meritano di essere preliminarmente definiti. La **previsione** (in lingua inglese *forecast* o *prediction*) è la descrizione dello stato futuro di un sistema. Ad esempio, oggi (22 settembre 2021) possiamo proporci di prevedere la fenologia di un vigneto al 10 ottobre. Al concetto di previsione si collega quello di attendibilità e incertezza (che margine di errore ha una previsione fenologica a un mese?). Occorre peraltro dire che in modellistica si usa spesso “previsione” in senso spaziale anziché temporale, per cui ad esempio posso propormi di simulare lo stadio fenologico raggiunto dal Sangiovese in data odierna in tutti i suoi terroir producendo un’adeguata cartografia.

La **fenologia** studia la sequenza delle fenofasi macroscopiche (stadi di sviluppo riconoscibili ad occhio nudo) che caratterizzando il ciclo di vita di un organismo vivente (nel nostro caso un vegetale). Il termine fu coniato nel 1853 dal botanico belga Charles François Antoine Morren (1807-1858) (Puppi, 2007) e deriva dai termini greci *phainomai* =appaio e *logos*=discorso). Al riguardo si noti che la sequenza delle fasi fenologiche è predeterminata geneticamente mentre il ritmo di accadimento delle fasi è determinato dai fattori ambientali, meteorologici e non.

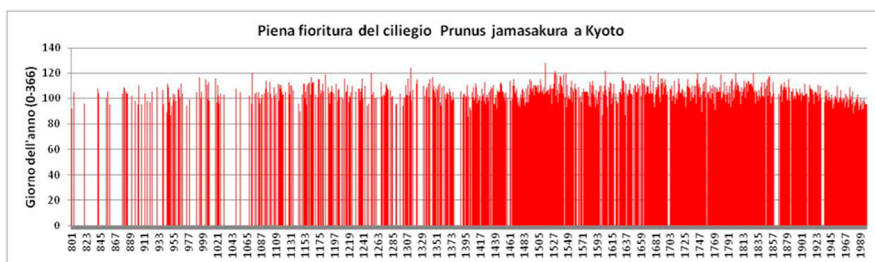
## Cenni storici

Se è intuitivo pensare che l'attenzione alla fenologia vegetale accompagni da sempre la nostra specie, le prime testimonianze scritte di eventi fenologici di piante e animali si hanno in Cina (XI secolo a.C.) e sempre in Cina si ha il più antico esempio di calendario fenologico (VIII secolo a.C.).

Nell'Alto Medioevo prende il via in Giappone la serie storica tuttora aggiornata più antica al mondo (Fig.29) e cioè quella di fioritura di una specie di ciliegio da fiore, il *Prunus jamasakura Siebold ex Koidz* nei giardini di Kyoto, che ha inizio nell'anno 801 con dati reperibili al sito <http://atmenv.envi.osakafu-u.ac.jp/aono/kyophenotemp4/>.

Figura 29

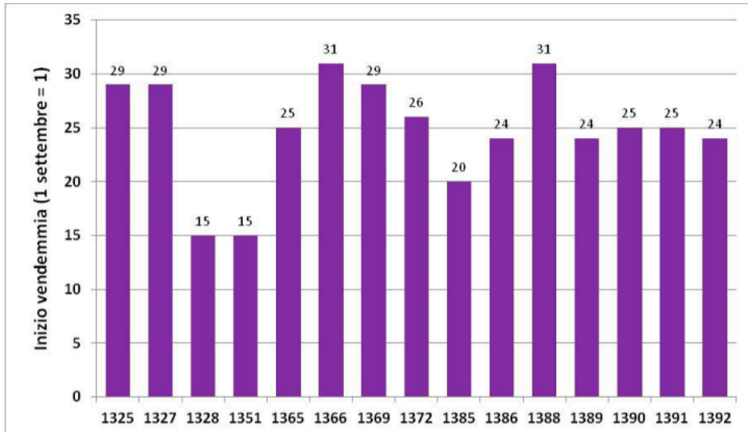
**Diagramma a barre delle date di fioritura del ciliegio a Kyoto. Le barre più alte indicano le date più tardive. La parte più antica della serie, fino al XIV secolo, presenta molti dati mancanti**



Al Basso Medioevo risalgono invece le più antiche serie storiche di date di vendemmia, le quali sono registrate per scopi legali (perseguire i furti d'uva oppure interrompere le attività di istituzioni locali per permettere alle persone interessate di effettuare la vendemmia). Al riguardo è possibile citare le serie storiche della Borgogna per il Pinot

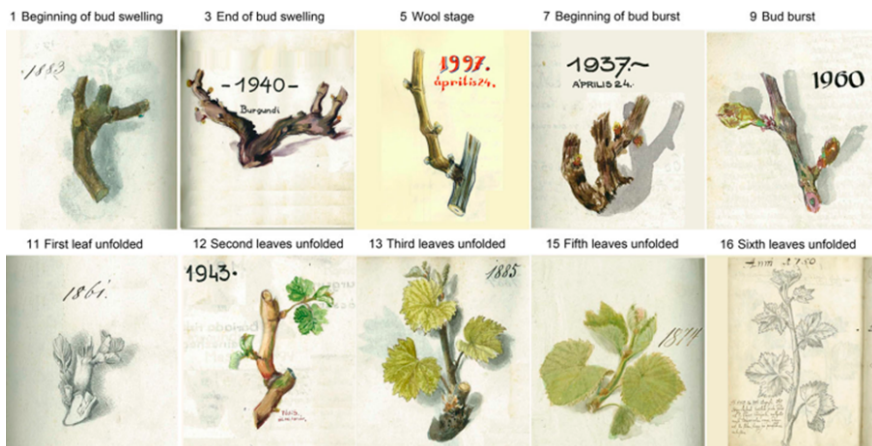
nero che hanno inizio nel 1371 e che sono continue fino ad oggi (Labbé e Gaveau, 2013). Per l'Italia possiamo citare la serie non continua delle date di inizio vendemmia di Torino dal 1325 al 1392 (Fig. 30), registrata nel Liber consiliorum e disponibile in PDF sul sito del Comune di Torino ([http://www.comune.torino.it/archiviostorico/cons\\_online/fonti\\_1325-1392.html](http://www.comune.torino.it/archiviostorico/cons_online/fonti_1325-1392.html)).

**Figura 30**  
**Date di vendemmia del XIV secolo a Torino tratte dal Liber consiliorum**



A titolo di esempio rammento anche la serie storica delle date di vendemmia di Tirano in Valtellina che ha inizio nel 1624 (Mariani et al., 2009) e la più recente serie storica di Koszeg che ha inizio nel 1740 (Fig. 31), particolarmente curiosa perché si tratta di una serie storica pittorica.

**Figura 31**  
**Alcune rappresentazioni pittoriche della fase fenologica raggiunta**  
**il 23 aprile a Koszeg (Ungheria) (Parisi et al., 2014)**



Koszeg è infatti una località ungherese e in occasione della festa per il patrono San Giorgio (23 aprile) una delegazione comunale si reca ogni anno nei vigneti e raccoglie dei germogli di vite che vengono poi disegnati e acquerellati da un artista locale. Da tali raffigurazioni è stato possibile ricostruire una serie storica pressoché continua dal 1740 ad oggi e sviluppare interessanti valutazioni di tipo agrolimatico (Parisi et al., 2014). Le più antiche serie storiche di date di vendemmia oggi disponibili per l'Italia sono riportate in tabella 3.

**Tabella 3**

**Serie storiche di date di vendemmia disponibili per l'Italia (Bonardi et al., 2019). Le fasi 5 e 11 sono vegetative mentre le successive sono riproduttive**

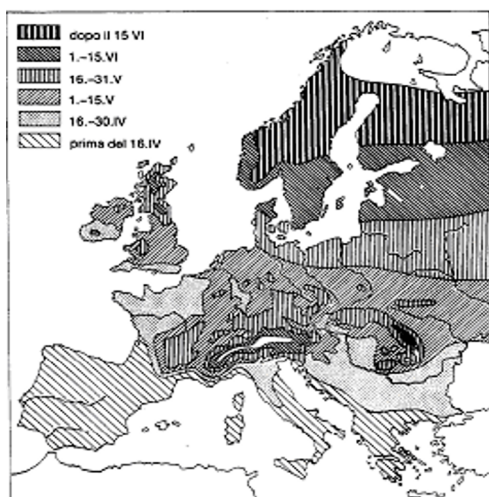
Torino	1325-1594
Pinerolo (TO)	1326-1396
Moncalieri (TO)	1329-1578
Albenga (SV)	1364-1420
Tirano (SO)	1624-1928
Bergamo	1768-1858
Cesena	1575-1793
Bologna	1648-1795
Acquaviva delll Fonti (BA)	1700-1831
Molfetta (BA)	1789-1863

Nel diciottesimo secolo si registra la nascita dei modelli fenologici che sono fra i più antichi modelli matematici applicati in agricoltura. L'ecclettico scienziato francese René Antoine Ferchault de Réaumur (1683–1757) si avvide infatti che la fioritura di alcune specie avveniva quando la somma delle temperature ambientali dei mesi precedenti raggiungeva un certo valore e nel 1735 formalizzò queste relazioni in termini matematici in un modello a sommatorie termiche ottenute cumulando le temperature medie del giorno senza detrarre il cardinale minimo come si fa oggi. Nel 1750 poi Il naturalista francese Michel Adanson (1727-1806) modificò il modello di Reaumur introducendo un concetto che prelude a quello di cardinale minimo: le sommatorie erano infatti calcolate escludendo le temperature inferiori a 0°C (<http://www.uwm.edu/Dept/Geography/npn/networks.html>).

Il XIX secolo vede poi la nascita della cartografia fenologica con la carta europea della fioritura del lillà (*Syrin-*

*ga vulgaris* L.) (Fig. 32) prodotta da Hoffmann and Ihne (Larcher, 1983).

**Figura 32**  
**Carta europea della fioritura del lillà (*Syringa vulgaris* L.) prodotta da Hoffmann and Ihne (da Larcher, 1983)**



Nel XX secolo si sono attivate una serie di iniziative a livello nazionale e internazionale fra cui spiccano gli International Phenological Gardens, che hanno creato una rete di stazioni fenologiche attiva dal 1959 e che presenta caratteristiche di omogeneità per specie e cloni monitorati e per standard di rilevamento (Renner e Chmielevski, 2022).

### **Gli standard osservativi per la vite**

Affronteremo qui di seguito alcuni importanti aspetti delle osservazioni fenologiche e cioè:



- che fasi rilevare e come denominare in modo univoco tramite apposite scale fenologiche
- che metodi di campionamento utilizzare (vigneto pre-scelto, quante piante, ecc.)
- quando rilevare (frequenza di campionamento)
- che significato dare alle osservazioni (confronto con la norma e normali fenologiche).

## **Le scale fenologiche**

Per fare scienza non basta osservare ma bisogna anche interpretare quel che si osserva con l'ausilio di modelli, fra i quali un ruolo chiave lo giocano le tassonomie (es: tassonomia dei corpi nuvolosi, delle specie vegetali e animali, dei minerali). In fenologia vegetale le tassonomie sono costituite dalle cosiddette scale fenologiche. Non esistendo un vero e proprio ente di standardizzazione, le scale si devono sovente ad autori che hanno creato degli standard di fatto. Come esempi per la vite si possono ricordare la Scala PFS di Baggolini e la Scala di Eikorn e Lorenz (Lorenz et al., 1994). Tali scale sono state in parte recepite e diffuse da organizzazioni internazionali, quali la FAO, l'Organizzazione Meteorologica Mondiale (OMM/WMO) e l'Organizzazione Europea e Mediterranea per la Protezione delle Piante (OEPP/EPPO). Nel panorama internazionale delle scale fenologiche un decisivo passo in avanti è avvenuto grazie all'introduzione della Scala BBCH, passibile di uso generalizzato in quanto applicabile a tutte le fanerogame e documentata nel manuale redatto da Uve Meier (2001).

La scala BBCH presenta 10 stadi di sviluppo principali, ognuno numerato da 0 a 9, il che porta la scala a un totale di 100 stadi che possono all'occorrenza salire fino a 1000 suddividendo ogni stadio secondario in stadi terziari o me-

sostadi (anch'essi da 0 a 9). La scala fenologica BBCH per la vite in uso nel progetto IPHEN (Italian Phenological Network) è riportata in tabella 4.

**Tabella 4**

**Scala BBCH per vite in uso nel progetto IPHEN.**

**IPHEN è un progetto per la raccolta di dati fenologici e la produzione di cartografie fenologiche nazionali coordinato dal CREA. Iphen è frutto di un'idea lanciata nel 2005 in un convegno nazionale di fenologia tenutosi a Roma e opera su base volontaria costituendo oggi un unicum a livello mondiale (Mariani et al., 2013)**

**STADIO PRINCIPALE 0 – SVILUPPO DELLE GEMME**

00 Dormienza: le gemme invernali si presentano appuntite o arrotondate, chiare o marrone scuro a seconda della cultivar. Perule più o meno chiuse a seconda della cultivar.

01 Inizio ingrossamento gemme: le gemme iniziano a rigonfiarsi entro le perule che le racchiudono

03 Fine ingrossamento gemme: gemme rigonfie e perule divaricate.

05 "Gemme cotonose": peluria cotonosa chiaramente visibile

07 Inizio apertura gemme: punte verdi dei germogli appena visibili

09 Rottura gemme: punte verdi dei germogli chiaramente visibili

**STADIO PRINCIPALE 1 – SVILUPPO DELLE FOGLIE (versione base, senza metastadi)**

11 La prima foglia si distende e si allontana dall'asse del germoglio

12 Seconda foglia distesa

13 Terza foglia distesa

14 Quarta foglia distesa

15 Quinta foglia distesa

16 Sesta foglia distesa

17 Settima foglia distesa

18 Ottava foglia distesa

19 Nove o più foglie distese

**STADIO PRINCIPALE 1 – SVILUPPO DELLE FOGLIE (con uso dei mesostadi)**

*Mesostadio 0 – prime 9 foglie*

101 La prima foglia si distende e si allontana dall'asse del germoglio

102 Seconda foglia distesa

103 Terza foglia distesa

104 Quarta foglia distesa

105 Quinta foglia distesa

106 Sesta foglia distesa

107 Settima foglia distesa

108 Ottava foglia distesa

109 Nona foglia distesa

*Mesostadio 1 – ulteriori 10 foglie*

110 decina foglia distesa

111 Undicesima foglia distesa

112 Dodicesima foglia distesa

- 113 Tredicesima foglia distesa
- 114 Quattordicesima foglia v
- 115 Quindicesima foglia distesa
- 116 Sedicesima foglia distesa
- 117 Diciassettesima foglia distesa
- 118 Diciottesima foglia distesa
- 119 Diciannovesima foglia distesa

**STADI PRINCIPALI 2, 3 e 4**

Non riguardano la vite perché riportano li stadi di accestimento, levata e botticella dei cereali

**STADIO PRINCIPALE 5 – SVILUPPO DELLE INFIORESCENZE**

- 53 Infiorescenze chiaramente visibili
- 55 Infiorescenze distese con fiori chiusi e raggruppati fra loro
- 57 Infiorescenze pienamente sviluppate con fiori tra loro separati

**STADIO PRINCIPALE 6 – FIORITURA**

- 61 Inizio fioritura: 10% delle caliptré caduto
- 63 30% delle caliptré caduto
- 65 Piena fioritura: 50% delle caliptré caduto
- 67 70% delle caliptré caduto
- 69 Fine fioritura

**STADIO PRINCIPALE 7 – SVILUPPO DEI FRUTTI**

- 71 I giovani frutti iniziano a ingrossarsi; sono ancora presenti residui floreali (allegagione)
- 73 Acini delle dimensioni di un granello di pepe (4 mm)
- 75 Acini delle dimensioni di un pisello (6 mm)
- 77 Chiusura grappolo (acini che iniziano a toccarsi)
- 79 Fila maggior parte degli acini si toccano


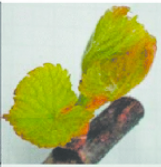









**STADIO PRINCIPALE 8 – MATURAZIONE DEI FRUTTI**

- 81 Inizio maturazione: bacche che da rigide divengono elastiche e iniziano a cambiare colore (invaiaatura)
- 83 Tutte le bacche hanno cambiato consistenza e colore
- 85 Addolcimento degli Acini (15 Brix)
- 89 Maturazione di raccolta (18 Brix per Chardonnay; 20 brix per Cabernet sauvignon)

Alcune fasi sono poi illustrate in figura 33, tratta da un articolo di Scalabrelli et al. (2009) che affronta tematiche fitopatologiche. Ai fini del recupero di serie storiche può essere utile la conversione fra scale e ad esempio in tabella 5 si riporta la trascodifica delle fenofasi della vite fra scala PFS Baggiolini, scala di Eikorn e Lorenz e le scala BBCH (Botarelli et al., 1999).

**Figura 33**

**Foto di alcune fasi BBCH riportate da Scalabrelli et al. (2009)**

Dormant bud	00		First leaf unfolded and spread away from shoot	11	
Beginning of bud swelling	01		2nd leaf unfolded	12	
End of bud swelling buds swollen, but not green	03		Inflorescence clearly visible	53	
"Wool stage" brown wool clearly visible	05		Inflorescence swelling, flowers closely pressed together	55	
Beginning of bud burst: green shoot tips just visible	07		Inflorescence fully developed; flowers separating	57	
Bud burst: green shoot tips clearly visible	09				

**Tabella 5**  
**Trascodifica fra le scale Baggiolini, BBCH e Eikorn e Lorenz**  
**(Botarelli et al., 1989)**

Fenofase della vite	Baggiolini	BBCH	Eichorn e Lorenz
Gemme in riposo invernale	A	0	1
Rigonfiamento gemme	-	1	2
Gemme cotonose	B	5	3
Punte verdi	C	7	5
Apertura gemme	D	8	7
Una o più foglie distese	E	11-19	9
Germogli lunghi 10 cm	-	-	-
Grappoli visibili	F	53	12
Grappoli separati	G	55	15
Bottoni fiorali separati	H	57	17
Fioritura	I	61-69	19-25
Allegagione	J	71	27
Mignolatura	-	73	29
Sviluppo grappolo	-	75	31
Chiusura grappolo	-	77	33
Invaiaatura	-	81	35
Maturazione	-	89	38
Inizio caduta foglie	-	93	43

### **Gli standard di campionamento**

Le osservazioni con scala BBCH su *Vitis vinifera* svolte nell'ambito di IPHEN prevedono:

- 2 varietà internazionali (Chardonnay e Cabernet Sauvignon)
- 10 piante rappresentative del vigneto (sviluppo nor-

male e simile a quello medio del vigneto, sempre le stesse, evidenziate con fascette e da sostituire solo se presentassero anomalie di sviluppo)

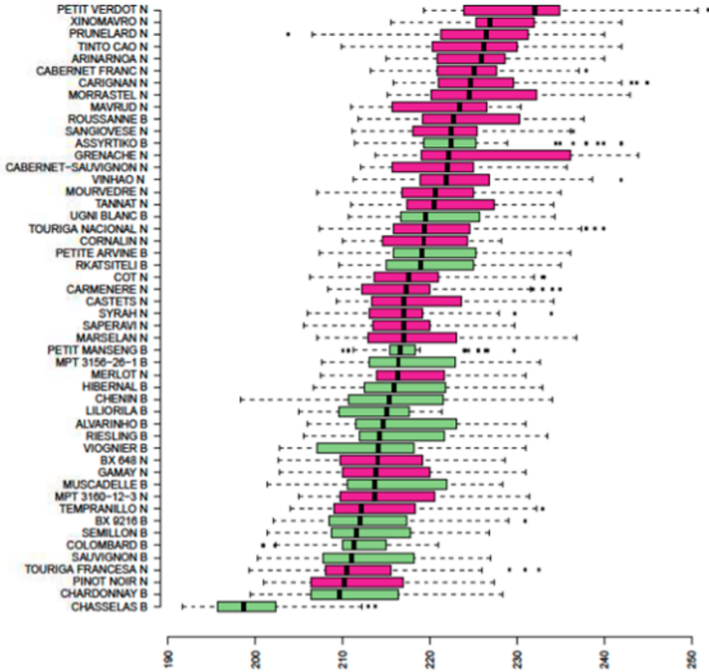
- 3 germogli per ogni pianta (uno basale, uno mediano e uno apicale)
- rilevamenti effettuati settimanalmente.

Giova ricordare che la scelta di Cabernet sauvignon e Chardonnay come varietà di riferimento si lega al fatto che si tratta di varietà internazionali diffuse in tutta Italia, un po' come accadeva un tempo per la varietà Chasselas dorato. Inoltre, Chardonnay è precoce e Cabernet sauvignon è medio-tardiva, per cui si rivelano rappresentative di due gruppi varietali importanti.

Per capire come Cabernet sauvignon e Chardonnay si collochino rispetto a Sangiovese, si riportano in figura 34 le date d'invasatura 2012-2018 registrate a Bordeaux nell'ambito del progetto Vitadapt (van Leeuwen et. al, 2019).

Figura 34

Date di accadimento dell'inviatura a Bordeaux per il periodo 2012-2018 e per una vasta gamma di varietà, fra cui Sangiovese, Cabernet Sauvignon e Chardonnay (Van Leeuwen et al, 2019)



## I modelli fenologici e l'approccio a somme termiche e a ore normali di caldo

Il Presupposto della modellistica fenologica è che il vegetale è un “sensore biologico” in quanto il ritmo di comparsa delle fasi fenologiche:

a) risponde ad una vasta gamma di variabili fisiche, fra cui la temperatura dell'aria e del terreno e la loro ciclicità (termoperiodo), la radiazione solare globale e le sue ciclici-

tà (fotoperiodo), altre variabili meteorologiche (umidità, vento, ecc.) e il contenuto idrico del terreno.

b) risponde a molte variabili agronomiche come ad esempio concimazioni, irrigazioni, potature, trattamenti e superamento della vernalizzazione indotto con agenti chimici (idrogeno cianamide).

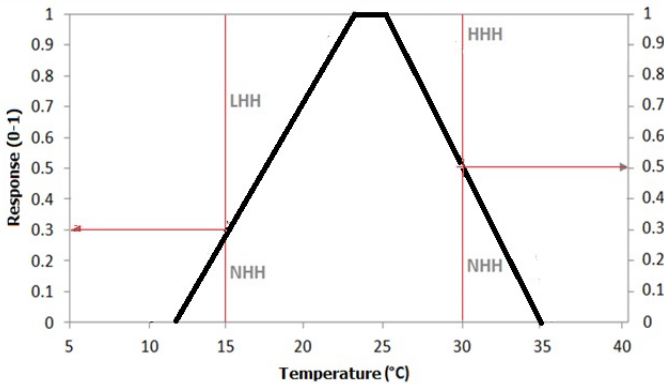
Occorre peraltro precisare che i ritmi fenologici sono governati da un orologio biologico che è generalmente difficile da “leggere”, essendo legato alla fisiologia vegetale e in particolare ai messaggi ormonali. Per questa ragione un orologio termico è di norma considerato in luogo di quello biologico. Un limite importante rispetto all’approccio a base termica è tuttavia dato dal fatto che un vegetale non è un vero e proprio termometro per un problema di linearità della sua risposta al variare della temperatura. In altri termini mentre nei comuni termometri la risposta è lineare (es: nel caso dei termometri a mercurio, la dilatazione termica del mercurio per °C è costante su una vasta gamma di temperature) le piante hanno risposte non lineari alla temperatura che sono funzionali ai loro obiettivi biologici.

Per tentare di ovviare al problema, la modellazione della fenologia della vite può essere approcciata per mezzo di una **curva di risposta alle temperature orarie**, sul tipo di quella mostrata in figura 35, che consente di ricavare la risposta fenologica della vite espressa in ore normali di caldo (NHH).



Figura 35

Data una temperatura oraria, la curva di risposta consente di ricavare la risposta fenologica espressa in ore normali di caldo (NHH) (Esempio In figura: un'ora trascorsa a 15°C corrisponde a 0,3 NHH, una a 30°C corrisponde a 0,5 NHH. I complementi a 1 (0,7 ore per 15°C e 0,5 ore per 30°C) sono “ore inutili per difetto o eccesso termico” e il loro cumulo ci consente di ricavare due altri importanti indici che sono espressione dello stress da freddo e da caldo



La curva è stata parametrizzata utilizzando le seguenti temperature cardinali: Cardinale minimo Cmin (12°C), cardinale ottimale inferiore Copti (24°C), cardinale ottimale superiore Copti (26°C) e cardinale massimo Cmax (35 °C). Tali valori sono stati ottenuti testando una lunga serie di combinazioni di cardinali e scegliendo infine quella che minimizzava l'errore di ricostruzione dei dati fenologici osservati sull'Italia per Chardonnay e Cabernet Sauvignon (Mariani et al., 2013). Con riferimento alla curva in figura 35, gli NHH si calcolano con il modulo seguente, utile per chi abbia familiarità con un linguaggio di programmazione:

```
begin
if (Th<=Cmin) o (Th>Cmax) then NHH=0
else if (Th>=Copti) e (Th<=Copti) then NHH=1
else if (Th>Cmin) and (Th<Copti) then begin m=1/(Copti-Cmin); q=1-Copti/(Copti-Cmin); NHH=m*Th+q;
end else if (Th>copts) e (Th<=cmax) then begin
m: =-1/(cmax-copts); q:=1+copts/(cmax-copts);
NHH=m*Th+q; end;
```

### **L'approccio a somme termiche**

I metodi a somme termiche (*Growing Degree Days* - GDD) si basano sulla stima delle unità termiche (*Thermal Units* TU) di un certo giorno e sul cumulo delle stesse su archi temporali più o meno lunghi. Nell'approccio più semplice, utilizzato ad esempio per il calcolo dei gradi Winkler, per il quale il cumulo viene eseguito per il periodo da 1° aprile a 31 ottobre, le unità termiche si ottengono con la semplice equazione  $TU = Td - Cmin$  (con il vincolo di porre  $TU = 0$  nel caso in cui  $TU$  assuma valori negativi) ove  $Cmin$  è il cardinale minimo e  $Td$  è la temperatura media ottenuta o come media dei 24 valori orari o ancora come media della temperatura massima e minima giornaliera  $Tx$  e  $Tn$ . Nel caso della vite come cardinale minimo si adotta sovente il valore di  $10^{\circ}C$ , per cui per un giorno con temperatura massima di  $22^{\circ}C$  e minima di  $12^{\circ}C$  avremo  $Td = (Tx + Tn) / 2 = 17^{\circ}C$  e dunque  $TU = 17 - 10 = 7^{\circ}C$ . Nel caso invece di una temperatura media di  $6^{\circ}C$  avremo  $TU = 0$  e ciò in virtù del vincolo sopra esposto.

A differenza che nelle NHH, nelle somme termiche tutte le temperature hanno uguale peso. Ciò si rivela un problema tanto per temperature subottimali che sopra ottimali. Ad esempio, nel caso delle temperature sopra ottimali

per un vigneto esposto ad una temperatura media di 40°C si avrà  $TU=40-10=30^{\circ}C$ , il che è irrealistico in quanto la vite risulta esposta ad un relevantissimo stress termico e dunque i 30°C costituiscono una risorsa solo in via del tutto teorica. Per cercare di risolvere tale problema sono stati introdotti i **metodi a troncamento**, per cui se  $T_x$  è maggiore del Cardinale massimo  $C_{max}$  allora  $T_x=C_{max}$  oppure **metodi in cui si detrae l'eccesso**, per cui se  $T_x$  è maggiore di  $C_{max}$  si detrae l'eccesso rispetto al cardinale massimo con l'equazione  $T_x=T_x - (T_x-C_{max})$ , in modo da considerare l'effetto depressivo delle temperature eccessive.

Si noti che tale eccesso potrebbe anche essere considerato come indicatore di stress da eccesso termico. In tabella 8 sono riportati i cumuli di gradi Winkler e di ore normali di caldo NHH necessari per raggiungere alcune fasi fenologiche vegetative e riproduttive in Sangiovese mentre in tabella 9 si riportano i cumuli di ore normali di caldo NHH occorrenti per il raggiungimento di varie fasi fenologiche riproduttive in Sangiovese.

## **Le normali fenologiche**

Le normali fenologiche sono utili per valutare l'anomalia di comportamento di una singola annata (effetto annata). In analogia con quanto accade per la meteorologia, la normale dovrebbe essere idealmente costituita dalla media di 30 anni di dati (es: data media di piena fioritura o di inizio invaiatura). In viticoltura è tuttavia raro disporre di serie osservative tanto lunghe ma quantomeno 10-20 anni sarebbero necessari. Il problema si può tuttavia bypassare operando con modelli. Ad esempio, per le analisi agroclimatiche a livello nazionale che escono mensilmente sulla

rivista L'enologo la normale fenologica è costituita dai valori medi degli ultimi 20 anni (per quest'anno si usa la media 2001-2020) ottenuti applicando un modello a NHH alle serie storiche termiche italiane.

### **Schema di analisi e previsione operativa adottato in iphen**

IPHEN è stato reso operativo dal 2006 ed è tutt'oggi attivo (<https://www.reterurale.it/fenologia>); Il mio resoconto si riferisce agli standard in vigore nel periodo in cui ho operato nell'ambito del progetto (dal 2006 al 2018). Il servizio opera su vite, cipresso, olivo, sambuco, castagno e robinia. Lo schema di analisi e previsione di IPHEN prevede che le carte fenologiche di analisi (aggiornate alla data di emissione) si producano applicando il modello a NHH ai dati meteorologici e cioè alle temperature massime e minime giornaliere derivate dal dataset GSOD, che comprende 197 stazioni meteorologiche presenti sul territorio nazionale italiano e da cui sono state ricavate le temperature orarie utilizzando il modello di Parton e Logan (1981).

Correggendo tali carte in base alle osservazioni fenologiche condotte da rilevatori volontari si ottengono le carte fenologiche di analisi finali. Inoltre, Le carte fenologiche previste si ottengono sulla base dei dati meteorologici previsti fino a fine campagna (dalla data di analisi a 15 giorni in avanti nel tempo si usano le previsioni a medio termine mentre per il periodo successivo e fino a fine campagna si usa la climatologia media degli ultimi 20 anni).

## **Applicazione del modello a NHH a sangiovese**

Il modello a NHH che opera utilizzando i cumuli riportati in tabella 6 e tabella 7 per raggiungere le principali fenofasi BBCH è stato anzitutto validato sui dati osservativi 2007-2018 rilevati dal dott. Giovanni Capuano nell'azienda Bindella che ha vigneti di Sangiovese posti fra 300 e 400 m slm a Montepulciano.

**Tabella 6**

**Cumuli di risorse termiche espressi come gradi Winkler e come NHH occorrenti per il raggiungimento di alcune fasi fenologiche in Sangiovese**

<b>BBCH</b>	<b>Declaratoria</b>	<b>Winkler</b>	<b>NHH</b>
5	Gemma cotonosa	41	91
11	1a foglia distesa	82	149
53	Infiorescenza chiaramente visibile	101	171
61	Inizio fioritura	270	408
65	Piena fioritura	324	486
71	Allegagione	424	628
81	Inizio invaiatura	1021	1368
89	Maturazione	1519	1872

**Tabella 7**

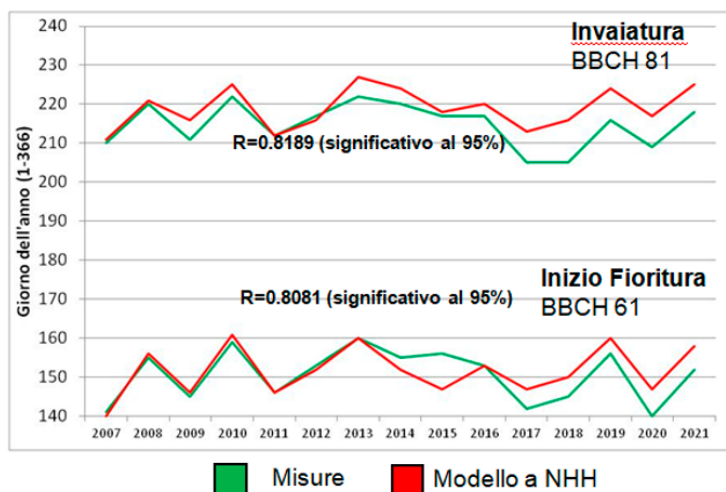
**Cumuli di ore normali di caldo NHH occorrenti per il raggiungimento di alcune fasi fenologiche riproduttive in Sangiovese**

<b>BBCH</b>	<b>NHH cumulate</b>
49	96
53	171
55	239
57	311
<b>61</b>	<b>408 (inizio fioritura)</b>
63	455
65	486
69	565
71	628
73	702
75	790
77	897
79	1144
<b>81</b>	<b>1368 (inizio invaiatura)</b>
83	1535
85	1672
87	1783
<b>89</b>	<b>1872 (maturazione piena)</b>

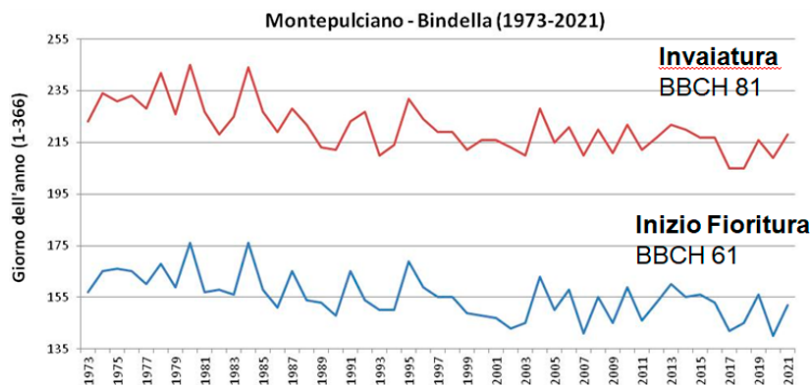
I risultati ottenuti e sintetizzati in figura 36 indicano che il modello è sufficientemente accurato nel simulare la fenologia del Sangiovese. Sulla scorta di ciò il modello è stato anzitutto applicato ai dati termici giornalieri della stessa Azienda Bindella relativi al periodo 1973- 2021, ottenendo i risultati riportati in figura 37, da cui si evince che la data media di accadimento della fase di inizio fioritura (BBCH 65) è passata dal giorno 159 (8 giugno) del periodo 1973-1999 al giorno 151 del periodo 2000-2021, con un anticipo di 8 giorni; al contempo la data media di accadimento della fase di inizio invaiatura (BBCH 81) è passata dal giorno 225 (13 agosto) del periodo 1973-1999 al giorno 215 del

periodo 2000-2021, con un anticipo di 10 giorni.

**Figura 36**  
**Modello a NHH validato sui dati fenologici 2007-2018 nell'azienda Bindella**



**Figura 37**  
**Applicazione del modello ai dati meteorologici dell'azienda Bindella per il periodo 1973-2021**



Si è quindi proceduto ad applicare tale modello per produrre la carta della data media di accadimento della fase di inizio invaiatura (BBCH 81) per l'areale italiano del Sangiovese e per il periodo 1973-1999. Come base si sono utilizzati i dati delle 25 stazioni riportate in tabella 8 e figura 38 e l'algoritmo adottato per produrre la carta è qui di seguito illustrato:

**Tabella 8**  
**Elenco delle stazioni meteorologiche dell'area del Sangiovese utilizzate per ricavare la carta fenologica della data media di inizio invaiatura per il periodo 1973-1999**

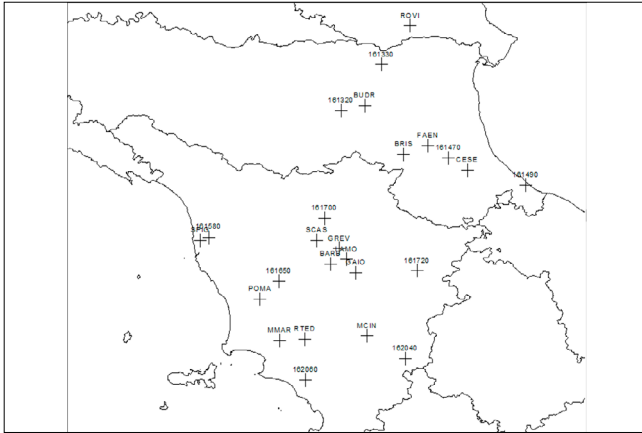
stazione	acronimo	cx (geogr x 1000)	cy (geogr x 1000)	hh	gestore
Barberino Val d'Elsa	BARB	11242	43511	370	ARSIA poi SIR
Lamole	LAMO	11355	43540	540	ARSIA poi SIR
Greve	GREV	11303	43609	290	ARSIA poi SIR
Gaiole	GAIO	11421	43454	390	ARSIA poi SIR
Roccatederighi	RTED	11064	43024	490	ARSIA poi SIR
Massa Marittima	MMAR	10889	43015	326	ARSIA poi SIR
San Pietro a Grado	SPIG	10330	43664	3	CREA-RAN
San Casciano	SCAS	11146	43664	230	CREA-RAN
Pomarance	POMA	10750	43283	326	CREA-RAN
Budrio	BUDR	11483	44533	30	CREA-RAN
Cesena	CESE	12200	44117	46	CREA-RAN
Rovigo	ROVI	11800	45050	7	CREA-RAN
Bologna	161320	11317	44500	36	AM-GSOD
Ferrara	161330	11600	44800	10	AM-GSOD
Rimini	161490	12610	44020	12	AM-GSOD
Pisa	161580	10390	43684	1	AM-GSOD
Grosseto	162060	11070	42760	4	AM-GSOD
Forlì	161470	12070	44195	29	AM-GSOD
Arezzo	161720	11850	43467	249	AM-GSOD
Volterra	161650	10883	43400	575	AM-GSOD
Radicondoli	162040	11767	42900	918	AM-GSOD
Firenze aeroporto	161700	11200	43807	38	AM-GSOD
Montalcino sintesi(*)	MCIN	11499	43045	500	SIR
Brisighella	BRIS	11755	44220	185	ARPA ER
Faenza	FAEN	11924	44276	32	ARPA ER



- 1) si applica il modello alle serie storiche termiche giornaliere delle 25 stazioni ottenendo le date medie di accadimento della fase BBCH 81
- 2) si ricava il gradiente fenologico altitudinale pari a 0.0555 giorni di anticipo per ogni m di riduzione della quota (Fig. 38)

**Figura 38**

**Le 25 stazioni usate per la simulazione fenologica su Sangiovese (il significato degli acronimi è indicato in tabella 5**



- 3) applicando tale gradiente si riduce al livello del mare la data di accadimento della fase BBCH 81
- 4) utilizzando l'algoritmo di kriging di Surfer 7 (Fig.39) si spazializzano i dati per l'intero territorio italiano avendo come riferimento un modello digitale del terreno DTM che ha pixel di 2x2 km
- 5) si riportano i valori ottenuti dl livello del mare alla quota di ogni cella di 2x2 km del DTM riapplicando in salita il gradiente di 0.0055.

Il risultato di tale algoritmo è la carta in figura 40 che offre una visione d'insieme sul fenomeno indagato.

**Figura 39**  
**Regressione rispetto alla quota della data d'inizio invaiatura (BBCH 81)**

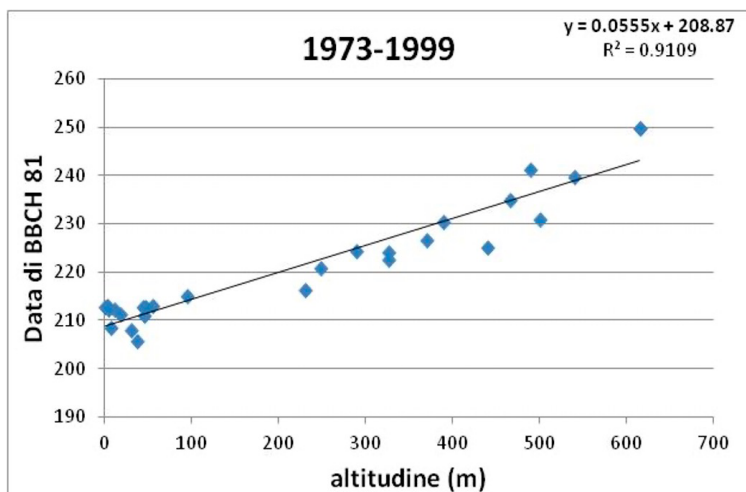
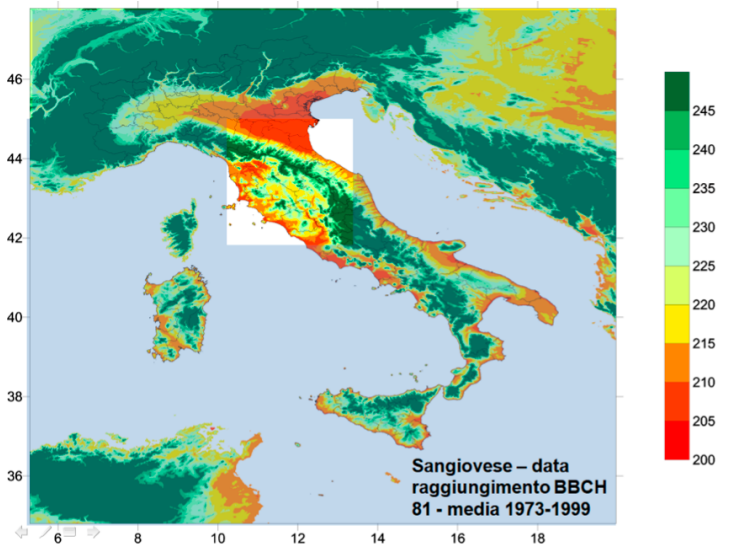


Figura 40

Carta della data media di inizio dell'invasiatura (BBCH 81) per il periodo 1973-99. Con una tonalità più chiara si evidenzia l'area i cui dati di stazione sono alla base dell'elaborazione (dominio di applicabilità del modello)



## Conclusioni

Questa relazione mostra che la fenologia vegetale è una disciplina vitale e che può offrire molti elementi utili per si occupa di viticoltura a livello scientifico e operativo. Ciò indica anche l'importanza di effettuare rilevamenti fenologici in azienda utilizzando metodologie standard. Tali dati dovrebbero essere associanti a misure meteorologiche regolari al fine di interpretare gli effetti sulla vite della variabilità interannuale e del cambiamento climatico.



**Parte seconda**  
**La maturazione del Sangiovese**

## Sistemi di allevamento del Sangiovese in Toscana

*Claudio d'Onofrio* - Dipartimento di Scienze Agrarie, Alimentari e Agro-ambientali (DiSAAA-a), Università di Pisa

I sistemi di allevamento della vite rappresentano il progresso compiuto dall'uomo nel corso della storia della viticoltura per adattare le piante ai diversi ambienti di coltivazione, alle caratteristiche vegeto-produttive dei vitigni, agli obiettivi enologici. Essi sono il prodotto della conoscenza del comportamento della vite e della cultura del territorio, e, insieme alle sistemazioni, rappresentano l'elemento che maggiormente caratterizza il paesaggio viticolo.

Il sistema di allevamento è l'insieme della geometria che la pianta assume nello spazio (comunemente indicata come forma di allevamento) in relazione alla struttura portante, disposizione e orientamento della vegetazione, modalità di potatura (presenza o assenza di cordoni permanenti, lunghezza della potatura) utilizzata per ottenerla, ed è utilizzato dal viticoltore per condizionare la massa vegetativa della vite in relazione alla resa e alla qualità della produzione. Pertanto, la scelta del sistema di allevamento è fatta in funzione delle caratteristiche pedo-climatiche, espressione vegetativa ed espansione della chioma, vigoria, tipo di potatura, carica di gemme e obiettivi enologici.

Nella viticoltura attuale, ai sistemi di allevamento "tradizionali" si sono aggiunti sistemi di allevamento "moderni" derivati dagli studi di ottimizzazione dell'efficienza fotosintetica della chioma e dell'equilibrio vegeto-produttivo, della qualità della produzione, e dalla necessità di

agevolare le pratiche di potatura, gestione della chioma e vendemmia.

I sistemi di allevamento caratterizzati da forma di allevamento ben sviluppata nelle tre dimensioni dello spazio sono detti a “volume” (Fig. 41), mentre quelli con forma di allevamento sviluppata prevalentemente su due dimensioni sono detti di “parete”.

**Figura 41**  
**Esempio di sistema di allevamento della vite a “volume”**  
(foto da Santoro A.)



I sistemi di allevamento a parete verticale sono comunemente detti a “filare” (Fig. 42), mentre quelli a parete orizzontale sono detti “a tetto” (Fig. 43).

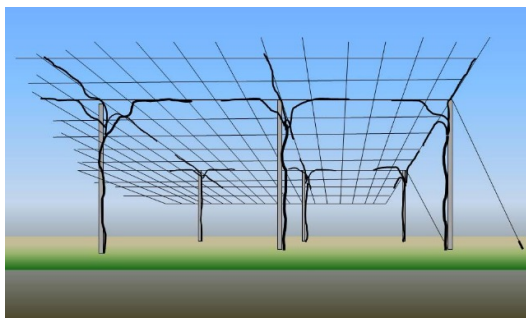
**Figura 42**

**Vigneto con sistema di allevamento a filare (Banfi: vigneto Caciaio)**



**Figura 43**

**Vigneto con sistema di allevamento a tetto: tendone  
(foto da Colapietra M et al. 2021)**





I sistemi di allevamento a filare sono detti “contropalliera” se la vegetazione è ascendente (Fig. 44), cioè cresce dal basso verso l’alto, o “cortina” se la vegetazione è discendente, e quindi cresce principalmente dall’alto verso il basso (Fig. 45).

**Figura 44**  
**Sistema di allevamento a “contropalliera”**

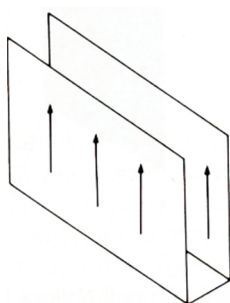


**Figura 45**  
**Sistema di allevamento a “cortina”**



Inoltre, i sistemi di allevamento a filare possono anche essere a parete doppia, e quindi si possono avere delle doppie controspalliere (Fig. 46) o doppie cortine (Fig. 47).

**Figura 46**  
**Sistema di allevamento a “doppia controspalliera”:** combi (foto da Intriери C.)

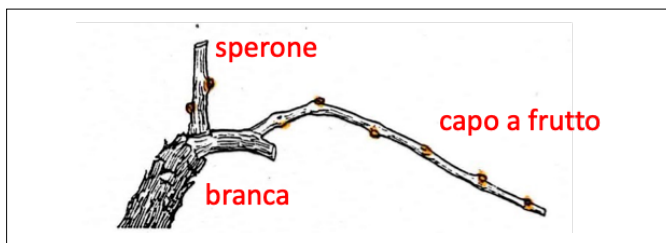


**Figura 47**  
**Sistema di allevamento a “doppia cortina”: GCD**  
(foto da [www.virtualviticolturaacademy.com](http://www.virtualviticolturaacademy.com))



La carica di gemme di un sistema di allevamento, ovvero il numero di gemme ibernanti potenzialmente produttive (le gemme che comunemente vengono dette “occhi” o “gemme franche”) lasciate sulla singola pianta in seguito alla potatura invernale, e che quindi determina il potenziale produttivo della pianta di vite, può essere attuata con potatura corta a sperone (lo sperone è un tralcio potato a 1-3 gemme), lunga a capo a frutto (il capo a frutto è un tralcio potato con più di 3 gemme) o mista (presenza contemporanea di speroni e capi a frutto) (Fig. 48).

**Figura 48**  
**Potatura corta (a sperone), lunga (a capo a frutto),**  
**mista (sperone + capo a frutto)**





Data la variabilità della fertilità potenziale delle gemme ibernanti (numero di abbozzi di grappoli sull'asse meristemico principale della gemma) in relazione alla sua posizione lungo un tralcio (aumenta a partire dalle gemme dei nodi basali del tralcio fino a raggiungere il massimo nella parte centrale del tralcio, per poi diminuire e raggiungere il minimo nella parte distale del tralcio), a parità di carica di gemme, il numero potenziale di grappoli di una pianta di vite dipende dalla lunghezza della potatura: in altre parole, a parità di gemme per pianta (carica di gemme), piante con capi a frutto producono più grappoli rispetto a piante potate a speroni.

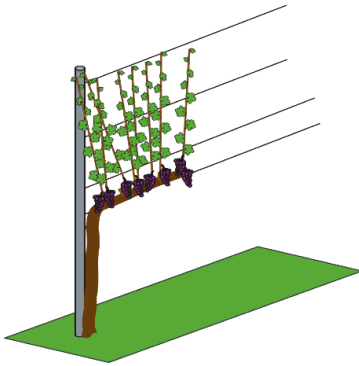
L'energia utilizzata da una pianta di vite nel corso della stagione vegetativa (la stagione vegetativa è il periodo che va dalla schiusura delle gemme, cioè il "germogliamento", alla caduta delle foglie, e quindi l'entrata in riposo vegetativo invernale) deriva dall'attività fotosintetica svolta nel corso dell'attività vegetativa ma anche dagli zuccheri accumulati sotto forma di sostanze di riserva negli organi legnosi, e quindi apparato radicale, tronco, branche (le branche sono i rami con un'età superiore ad un anno), cordoni (il cordone è una branca che porta speroni o/e capi a frutto) e tralci (i rami dell'anno lignificati). Pertanto, considerato che la quantità di sostanze di riserva di cui dispone una

singola pianta di vite dipende sostanzialmente dalla sua quantità di legno, a parità di lunghezza della potatura, le piante dotate di cordone, e quindi con una maggiore quantità di sostanze di riserva, tendono ad avere grappoli con più acini, più compatti e più pesanti rispetto alle piante senza cordone.

I sistemi di allevamento attualmente più utilizzati in Toscana per il Sangiovese sono delle controspalliere con cordone e speroni, comunemente dette “cordone speronato” (Fig. 49), o con uno sperone e un capo frutto, comunemente indicate come “Guyot” (Fig.50).

**Figura 49**

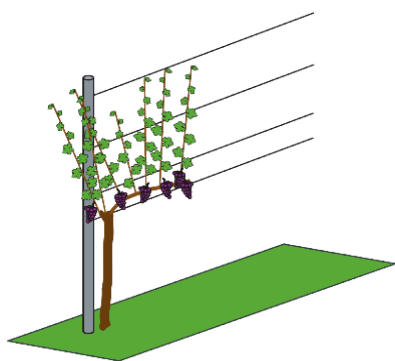
**Sistema di allevamento a “cordone speronato” (schema da Calò et al., 2006, foto da [www.coltivazionebiologica.it](http://www.coltivazionebiologica.it))**



Sulla base delle considerazioni sopra riportate, a parità di carica di gemme, il sistema di allevamento a “cordone speronato” produce meno grappoli rispetto al sistema di allevamento a “Guyot”, e quindi ha una più ridotta produzione a pianta, anche se in parte compensata da grappoli

più compatti e pesanti. Inoltre, la maggiore disponibilità di sostanze di riserve dovuta alla presenza del cordone consente alle viti di produrre una maggiore massa vegetativa (quella che più tecnicamente viene indicata come “espressione vegetativa”), che, a parità di carica di gemme, e quindi di numero di germogli a pianta, comporta una maggiore “vigoria” dei germogli, ovvero in una maggiore massa vegetativa per singolo germoglio, influenzando il contenuto in zuccheri e acidità delle uve, ma anche il contenuto in polifenoli ed aromi.

**Figura 50**  
**Sistema di allevamento a “Guyot” (schema da Calò et al., 2006, foto D’Onofrio C.)**



Considerata la necessità di mantenere basse le rese produttive ad ettaro, come imposto dalla maggior parte dei disciplinari di produzione delle denominazioni di origine toscane, e la maggiore possibilità di meccanizzazione dei sistemi di allevamento a potatura corta, nel corso degli ultimi decenni in Toscana il cordone speronato si è diffuso

più del Guyot, sostituendo i tradizionali sistemi di allevamento della Toscana caratterizzati da potatura lunga ed elevata carica di gemme (Fig.51).

**Figura 51**  
**Sistema di allevamento a “doppio capovolto”**  
(foto da [www.comavit.it](http://www.comavit.it))



Nel cordone speronato, i germogli tendono ad avere una massa vegetativa variabile (gradiente di vegetazione) in funzione della loro posizione sugli speroni collocati lungo il cordone. In particolare, per effetto dell'acrotonia (l'acrotonia è la tendenza della pianta di vite a vegetare maggiormente nelle parti più distali della pianta stessa), i germogli presentano un gradiente di vegetazione crescente con l'allontanarsi degli speroni dal tronco (Fig.52).

**Figura 52**  
**Schema di gradiente di vegetazione in cordone speronato**  
**in relazione all'acrotonia**

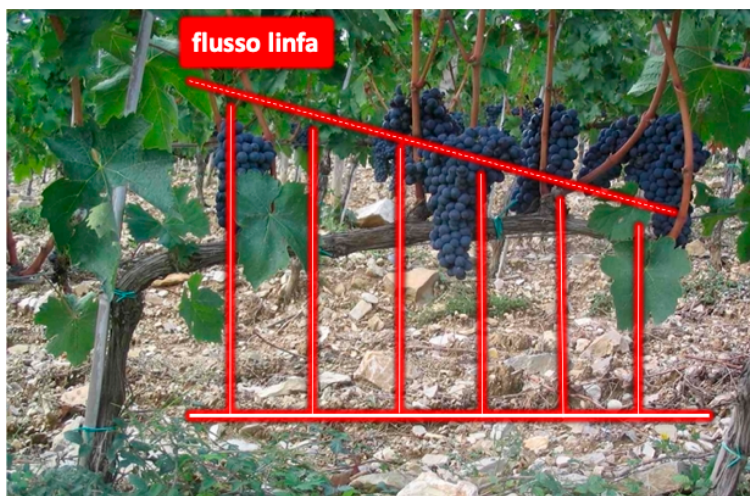


Viceversa, dal punto di vista trofico, a causa del rallentamento del flusso della linfa dovuta alla curvatura tra il tronco e il cordone e alla posizione orizzontale del cordone, il gradiente di vegetazione dei germogli tende a ridursi con l'aumentare della distanza degli speroni dal tronco (Fig.53).



Figura 53

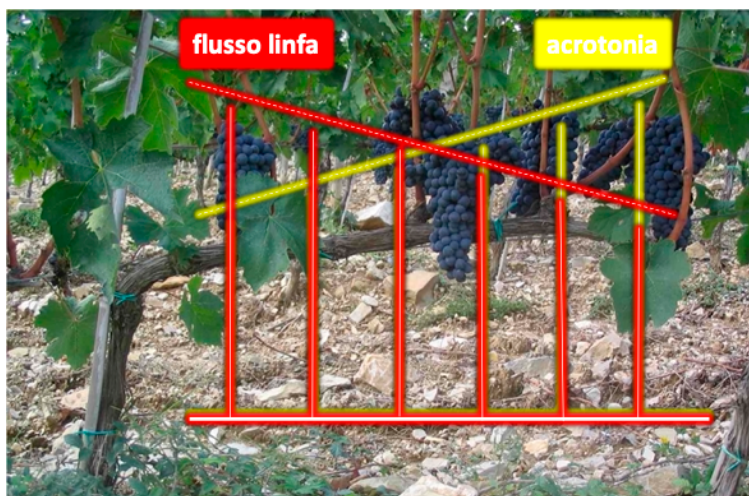
Schema di gradiente di vegetazione in cordone speronato  
in relazione al flusso della linfa



Pertanto, conseguentemente alla combinazione tra acrotonia e flusso della linfa, i germogli degli speroni della parte centrale del cordone tendono ad avere una più ridotta vigoria rispetto a quelli nella parte iniziale e distale del cordone, tanto più quanto l'espressione vegetativa dell'intera pianta è ridotta (Fig.54).

**Figura 54**

**Schema di gradiente di vegetazione complessivo in cordone speronato**



L'eccessiva riduzione della vigoria dei germogli sugli speroni centrali del cordone facilita il progressivo indebolimento di questi punti di vegetazione fino al loro completo esaurimento e morte, con conseguente formazione di vuoti di vegetazione nella parte centrale del cordone (Fig.55), e quindi riduzione dell'uniformità della parete vegetativa e della produzione di uva. Tale effetto si è particolarmente accentuato nel corso degli ultimi anni come conseguenza degli stress dovuti al cambiamento climatico che ha progressivamente ridotto l'espressione vegetativa delle viti.

**Figura 55**  
**Disformità di vegetazione in un cordone speronato**



Questo aspetto negativo può essere contrastato attraverso una modifica della struttura legnosa della pianta che consenta un'opportuna omogeneità della distribuzione del flusso della linfa tra i diversi germogli, e quindi un'uniformità di vigoria dei germogli sui diversi speroni.

Si ritiene che il cordone speronato sia derivato dall'evoluzione dell' "alberello", un antico sistema di allevamento introdotto in Italia dai Greci. L'alberello classico è un sistema di allevamento con forma di volume, a cono rovesciato, e struttura con 4 branche oblique, ognuna con alla sommità uno sperone (Fig.56).

**Figura 56**  
**Sistema di allevamento a “alberello”**  
(foto da [www.lodiwine.com](http://www.lodiwine.com) modificata)

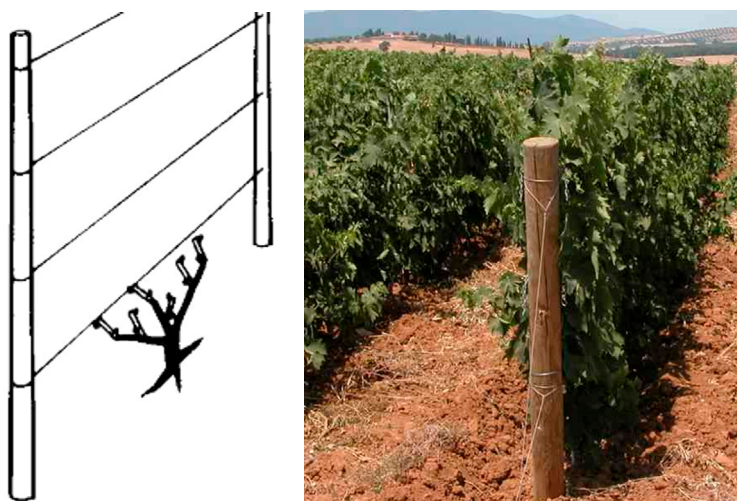


La presenza di un unico sperone alla sommità di ciascuna branca comporta una equa distribuzione della linfa e conseguentemente una vigoria uniforme dei germogli e l'assenza di gradiente di vegetazione.

Pertanto, in questa situazione, difficilmente il punto di vegetazione che porta lo sperone alla sommità della branca si esaurisce, consentendo una costante e uniforme attività produttiva della pianta e una longevità prolungata. Il limite di questo sistema di allevamento sta primariamente nella necessità di un'espressione vegetativa contenuta delle viti, tale da consentire di avere germogli non troppo lunghi che riescono a rimanere assurgenti senza la necessità di un supporto. L'altro limite, specifico per la viticoltura moderna, è il limite nella meccanizzazione delle operazioni di gestione della po-

tatura e della chioma. Una variante dell'alberello classico è l' "alberello a ventaglio", che differisce rispetto all'alberello classico per avere le branche disposte su un unico piano e vegetazione sorretta da struttura portante con pali e fili, in modo da avere una forma di allevamento a parete verticale anziché a volume (Fig.57).

**Figura 57**  
**Sistema di sistema di allevamento a "alberello a ventaglio"**

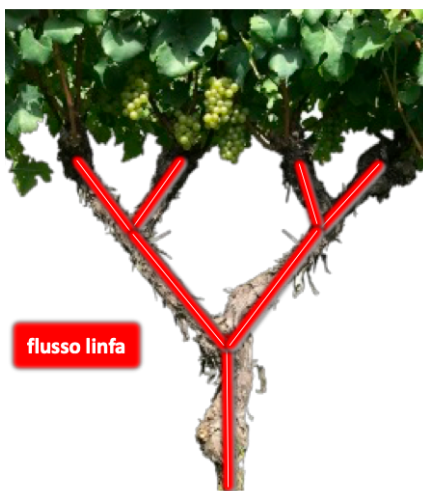
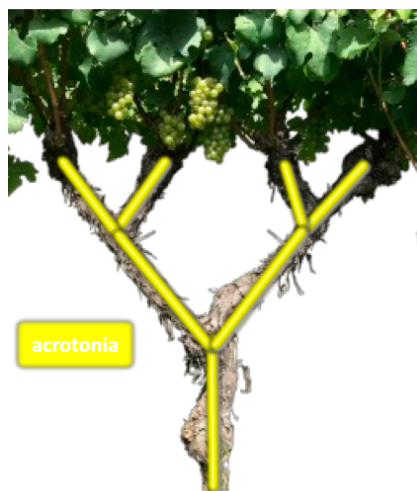


Tale variante, consente di gestire germogli con una più elevata vigoria rispetto all'alberello classico per la presenza della palificazione su cui appoggiarli, e, per la disposizione in linea degli speroni (Fig. 58), permette un elevato grado di meccanizzazione al pari del cordone speronato, ma, rispetto a quest'ultimo, presenta il vantaggio principe dell'alberello, e cioè la mancanza di competizione acrotoma e trofica tra gli speroni, e quindi l'uniformità di vigoria dei germogli (Fig.59).

**Figura 58**  
Struttura di “alberello a ventaglio” (foto da [www.artedellavigna.com](http://www.artedellavigna.com))



**Figura 59**  
Acrotonia e flusso della linfa nell'alberello a ventaglio



In definitiva, l'alberello a ventaglio raggruppa tutti i vantaggi di gestione della potatura e della chioma del cordone speronato consentendo di eliminare il problema del gradiente di vegetazione, e quindi della morte dei punti di vegetazione nella parte centrale del cordone, e in ultima analisi allungare la longevità produttiva delle viti. Inoltre, la possibilità di riduzione del numero delle branche, e quindi della carica di gemme, consente di concentrare l'espressione vegetativa su un più ridotto numero di germogli e di poter adeguatamente modulare la vigoria in relazione a ridotta fertilità del terreno e ai frequenti stress dovuti al cambiamento climatico.

In tale ambito, presso Banfi, in vigneti con bassa fertilità del terreno, dove usualmente si utilizza un cordone speronato con 4 speroni da 2 gemme, si utilizza un alberello a ventaglio, denominato "Alberello Banfi" con 2 sole branche, ognuna con uno sperone di 2 gemme (Fig.60).

**Figura 60**  
**Alberello Banfi**



La riduzione della carica di gemme da 8 del cordone speronato a 4 dell'alberello Banfi consente, a parità di sesso di impianto, di adeguare l'espressione vegetativa e la produzione della pianta alla scarsa fertilità del terreno, ottenendo una vigoria più elevata e adeguata, così come pure valori dei principali indici vegeto-produttivi più adeguati alla produzione di uve di Sangiovese da destinare alla produzione del Brunello di Montalcino.



## Maturazione delle bacche e clima

di *Giovan Battista Mattii*, Università degli Studi di Firenze

Una delle specificità della viticoltura di qualità è la sua stretta dipendenza dai fattori climatici. Per convincersene è sufficiente osservare le conseguenze delle fluttuazioni climatiche annuali sulle rese, sulle caratteristiche delle uve e su quelle dei vini. I vigneti attuali, frutto di un empirismo tramandato da secoli, hanno portato ad una forte specializzazione delle produzioni regionali in relazione alle attitudini climatiche delle differenti zone (adattamento delle varietà, tecniche viticole e enologiche), tuttavia il cambiamento climatico annunciato da qualche anno potrà determinare delle modificazioni sensibili del paesaggio viticolo. L'attività viticola è fortemente influenzata dalle condizioni meteorologiche: queste agiscono sui comportamenti della coltura determinando, in ultima analisi, quantità e qualità della produzione.

La possibilità di studiare questi aspetti sulla base della variabilità meteo-climatica che si è accentuata negli ultimi anni e nella prospettiva del cambiamento climatico previsto per i prossimi decenni ha quindi un'importanza rilevante per fornire agli operatori strumenti di analisi e previsione utili per la gestione e pianificazione della loro attività. L'ambiente assume grande importanza nel condizionare l'espressione qualitativa e quantitativa di ogni vitigno e nella delimitazione degli areali di coltivazione. Le ore di sole sono positivamente correlate con la quantità di

uva prodotta e con la sua qualità, solo però se temperatura e umidità relativa dell'aria sono in un range favorevole. È da notare che negli ambienti caldi per ottenere vini pieni e corposi sono necessarie più ore di sole rispetto ad ambienti termicamente meno dotati e ciò è legato ai maggiori consumi per la respirazione. Sono ormai ampiamente riconosciute le interazioni tra temperature e peculiarità dei vini: La temperatura influenza il tenore zuccherino delle uve, i livelli di acidità, di intensità aromatica, la quantità ed estraibilità degli antociani, il livello di condensazione dei tannini e l'attività enzimatica.

Mentre l'intensità di colore e di aromi è sacrificata in ambienti con ridotti livelli di temperatura a favore di una maggiore delicatezza dei vini, viceversa temperature troppo elevate riducono la sintesi delle sostanze coloranti, accelerando la degradazione delle molecole aromatiche, maggiormente termolabili e degli acidi essenziali per l'equilibrio del vino. Le migliori annate sono quelle con temperature primaverili mediamente superiori alla media, che consentono maggiore precocità nella formazione della chioma e nella fioritura, e con medio-alte temperature nel periodo invaiatura-raccolta.

Accanto alle temperature medie hanno grande peso ed importanza le massime diurne, le minime notturne e le conseguenti escursioni termiche. Le maggiori influenze si riscontrano a livello di composti aromatici, delle sostanze coloranti e degli accumuli zuccherini. Come ormai ampiamente noto l'influenza delle temperature nell'efficienza fotosintetica delle piante è determinante. Le migliori condizioni per lo svolgimento corretto dell'attività fotosintetica sono tra i 25 ed i 30°C; oltre i 30°C l'efficienza fotosintetica inizia a diminuire per crollare repentinamente a 40°C. La temperatura esercita anche un'influenza indiretta sull'atti-

vità fotosintetica andando a determinare l'entità del processo evapotraspirativo e quindi influenzando il bilancio idrico della pianta. Questo fa sì che per poter garantire un buon svolgimento del processo fotosintetico a temperature di 35-40 °C occorre che sia presente una buona dotazione idrica del terreno.

La presenza di una sufficiente dotazione idrica nel terreno evita alla pianta una situazione di stress e conseguentemente impedisce la chiusura degli stomi, mantenendo attivo il processo di assimilazione della CO<sub>2</sub>. Un ulteriore accenno va fatto riguardo alla temperatura del suolo, il cui ruolo nel complesso metabolismo della pianta si sta sempre più evidenziando, in particolare nei riguardi della sintesi ormonale e dell'assorbimento minerale. L'esposizione del vigneto influenza la quantità di radiazione solare disponibile, per cui le esposizioni a sud-ovest sono le più soleggiate e calde, mentre quelle a nord-est hanno minori livelli di radiazione.

È noto che i versanti termicamente più favoriti sono il sud e l'ovest: in quest'ultimo caso l'insolazione, accompagnata dal massimo cumulo termico delle prime ore pomeridiane, si protrae più a lungo rispetto agli altri versanti. Conoscendo le maggiori esigenze dei vitigni a bacca nera come il Sangiovese, la viticoltura del passato si è particolarmente concentrata sui versanti più caldi per ottenere la migliore maturazione fenolica possibile, ma l'aumento di temperature a cui stiamo assistendo negli ultimi anni consiglia di ripensare queste scelte e valutare attentamente le sommatorie termiche delle varie esposizioni per ottimizzare la maturazione. Negli ambienti collinari l'orografia del sito porta con sé numerose implicazioni di carattere climatico, a cui si aggiungono effetti sul ruscellamento e sull'erosione. Pendenze, esposizione del versante ed altitudine sono

i principali fattori che incidono sui livelli termici, sulle escursioni notte/giorno, sulle ore di sole, sull'inclinazione dei raggi incidenti, sui movimenti delle masse d'acqua, sulle precipitazioni, ecc.

Ad esempio, anche nell'ambito dello stesso vigneto posto in collina, se la pendenza permette all'aria di drenare e risalire nell'arco della giornata, i moti ascendenti diurni e discendenti notturni dell'aria creano situazioni di diversità termica. La parte a valle del vigneto sarà investita dall'aria più fresca che durante la notte scorre lungo il pendio e che al mattino successivo deve riscaldarsi per invertire il suo cammino. Abbiamo di conseguenza nello stesso vigneto aree con differenti valori termici medi e con escursioni termiche altrettanto diversificate.

## **Il fattore acqua**

Venendo al fattore acqua, in condizioni di stress idrico si assiste ad una diminuzione degli scambi gassosi, del trasporto floematico, del trasporto attraverso le membrane cellulari, inoltre si ha una riduzione della rigidità e della stabilità dei tessuti non lignificati. La pianta in particolare manifesta i primi sintomi di stress idrico attraverso una strategia che ha lo scopo di ridurre l'intercettazione luminosa, prima aprendo l'angolo tra picciolo e tralcio, poi ripiegando il lembo fogliare ed infine, con la senescenza delle foglie più vecchie diminuendo l'efficienza fotosintetica della chioma.

Si assiste così ad una perdita di clorofilla, sclerificazione dei tessuti e perdita degli stomi. Le prime funzioni interessate dallo stress e quindi dalla perdita di turgore cellulare sono la distensione cellulare e la sintesi proteica, le quali riducendosi determinano un rallentamento della crescita.

La fotosintesi e l'accumulo degli zuccheri sono le attività che si mantengono più a lungo in condizioni di stress idrico, quasi fino alla morte vegetale.

In realtà la presenza di un moderato stress idrico ha un ruolo molto importante per l'ottenimento di una corretta maturazione delle uve: in particolare, un moderato stress nel mese di luglio contribuisce ad una riduzione dell'accrescimento vegetativo a tutto vantaggio dei processi di maturazione. Va comunque ricordato che prima dell'invasatura una situazione di carenza idrica rilevante dà effetti diretti, immediati, e a volte non più rimediabili, sulla quantità prodotta e sulla qualità complessiva. In questa fase, infatti, l'acino è interessato da un'intensa attività di moltiplicazione cellulare, fondamentale per le sue dimensioni finali.

Dopo l'invasatura, leggere e controllate condizioni di carenza idrica non solo non compromettono la qualità ed il peso dell'uva, ma possono portare addirittura ad una concentrazione dei soluti, ad una maturazione maggiormente indirizzata verso l'elaborazione ed all'accumulo di composti di pregio per la qualità dell'acino. Un regime idrico leggermente limitante durante la seconda parte del ciclo vegetativo (dalla fioritura in poi) è stato positivamente correlato con l'alta qualità ottenuta in certe annate. La reattività allo stress idrico è comunque un fattore dipendente anche dalla varietà; in particolare possiamo affermare che per il Sangiovese con potenziali idrici di tralcio di  $-12/-15$  bar assistiamo all'interruzione del processo di assimilazione della  $CO_2$ .

### **Descrizione dei mutamenti climatici in atto**

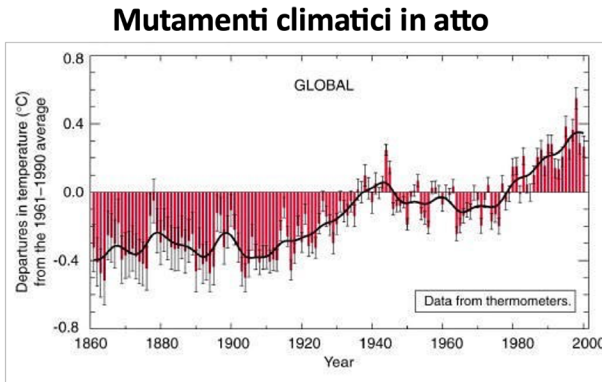
La viticoltura moderna si trova di fronte alla necessità di confrontarsi con i cambiamenti climatici in atto che

determinano evidenti modificazioni sulla fisiologia della pianta e sulle dinamiche delle maturazioni, con evidenti risvolti sulla qualità dei vini ottenuti.

È stata l'osservazione, all'inizio degli anni '70, di un aumento considerevole della concentrazione di certi gas ad effetto serra (GES), strettamente correlato all'attività antropica, che ha portato a prevedere l'eventualità di un cambiamento climatico indotto dal rafforzamento dell'effetto serra. In prima fila tra questi gas figura l'anidride carbonica, il cui livello attuale oltrepassa le 400 ppm, contro le 260 ppm presenti nell'epoca preindustriale e che dovrebbe attestarsi da 450 ppm a 1000 ppm alla fine del XXI secolo, seguendo l'attuale evoluzione delle politiche energetiche mondiali.

Successivamente alla presa di coscienza del ruolo determinate che l'uomo esercita sui cambiamenti climatici terrestri, che costituiscono solo una delle componenti dei cambiamenti climatici globali, le previsioni degli specialisti del clima si sono affinate progressivamente ed hanno acquisito un buon livello di confidenza con la materia. Esiste ad oggi un consenso abbastanza largo delle comunità sulla forte probabilità che si verifichi la previsione presentata dagli esperti del GIEC/IPCC (2001), confermate dai recenti rapporti del 2007 dell'Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (Fig.61)

**Figura 61**  
**Mutamenti climatici registrati con l'impiego del termometro**



**Evoluzione delle temperature medie dell'aria su scala mondiale tra il 1860 ed il 2000 (IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change, 2001).**

In particolare, per quanto riguarda la produzione agricola gli elementi che eserciteranno un ruolo determinante saranno:

- 1) Un aumento della temperatura del globo compreso tra 2 e 6°C
- 2) Un effetto importante sulla pluviometria, con aumento per quanto riguarda le regioni e le stagioni umide, contro una diminuzione per le regioni asciutte
- 3) Una tendenza all'accrescimento ed all'aumento della frequenza degli eventi estremi.

Le temperature hanno infatti mostrato una tendenza crescente che nell'ultimo secolo ha portato ad un incremento medio di 0,8 °C delle temperature superficiali con l'ultima decade del secolo (1990-1999) che è risultata la più calda mai registrata. Per quanto riguarda le precipi-

tazioni, non si hanno ancora segnali univoci, ma è stata osservata una diminuzione degli eventi piovosi ed un leggero aumento della frequenza degli eventi estremi; non aumenta così l'efficacia delle piogge, ma anzi aumenta la dannosità della stessa in relazione ai fenomeni di erosione e di dissesto idrogeologico. Si assiste inoltre ad una diminuzione delle precipitazioni invernali.

Si registrano, tendenziali aumenti di temperatura, con incrementi dei fenomeni evapotraspirativi. I recenti studi mostrano un incremento dei giorni in cui si rilevano temperature superiori ai 34 °C. Il deficit evapotraspirativo per ora è solo in leggero calo, ma con una tendenza comunque in ascesa.

La disponibilità di scenari climatici previsti per i prossimi anni consente di analizzare i possibili impatti sulla viticoltura, individuando gli interventi di breve e lungo periodo necessari per mitigarne le conseguenze negative e valorizzare quelle positive.

## **Influenza sulla vite**

### **1. Nutrizione idrica**

In base alle modificazioni climatiche previste per i prossimi anni, due saranno i parametri che andranno ad influenzare la nutrizione idrica delle colture: da un lato l'incremento delle temperature determinerà una maggiore richiesta evapotraspirativa, con conseguenti richieste idriche superiori necessarie per far fronte alla produzione di uve, dall'altro l'aumento dell'intensità delle piogge atmosferiche diminuirà l'efficacia di ogni singolo evento nel ripristino della riserva idrica del terreno.

Entrambi questi aspetti lasciano presagire che il fattore acqua costituirà sempre più un elemento fondamentale



per la coltivazione della vite.

Andando più nello specifico è fondamentale comprendere in quale fase del suo ciclo la vite è più sensibile alla siccità. I diversi processi fisiologici della vite rispondono in modo diverso allo stress idrico. I processi di crescita come lo sviluppo vegetativo e le prime fasi di accrescimento degli acini sono molto sensibili allo stress idrico, mentre l'attività fotosintetica e la crescita di post-invaiatura degli acini sono piuttosto resistenti.

La crescita dei germogli è uno dei processi più sensibili allo stress idrico. Si riduce in modo proporzionale al livello dello stress. Ciò potrebbe essere negativo per le viti che devono crescere e costruire la propria struttura come le viti giovani o come le viti in produzione nel periodo compreso tra germogliamento e invaiatura, in quanto andrebbe a compromettere la corretta costituzione della superficie fotosintatizzante, (cioè della chioma). Per questo motivo, nei climi aridi, l'irrigazione a metà stagione, per regolare la crescita dei germogli è una pratica ricorrente.

Esiste pertanto un livello di stress in questa fase al quale si ha un buon processo fotosintetico ed una riduzione della crescita vegetativa. Molti studi hanno ormai dimostrato che un leggero deficit idrico è necessario per una corretta maturazione dei grappoli, permettendo di ottenere una maggiore concentrazione dei composti nobili della bacca e migliorare il rapporto zuccheri/acidità. Possiamo quindi parlare di un effetto soglia, oltre la quale uno stress idrico eccessivo potrebbe influenzare negativamente la composizione delle uve. Fino a quando lo stress idrico si produce prima dell'invaiatura ha degli effetti rilevanti sull'accrescimento della pianta, mentre se ha luogo durante l'invaiatura, ne diminuisce la durata complessiva di qualche giorno ed influenza l'accumulo degli zuccheri; tuttavia una caren-

za idrica eccessiva determinerà un rallentamento dell'accumulo a causa dell'instaurarsi di una competizione tra accrescimento vegetativo e maturazione delle uve: il primo sarà privilegiato in caso di siccità eccessiva, (come accaduto nel 2003 e nel 2017). Questo fenomeno è alla base del cambiamento della tipicità dei vini: si assiste in questo caso al mantenimento degli standard qualitativi, ma ad una perdita delle caratteristiche distintive del terroir.

A partire dalla fase di invaiatura gli stress idrici che intervengono hanno diversi effetti sulle caratteristiche delle uve. Nelle primissime settimane dopo l'invaiatura, la crescita dell'acino e l'accumulo degli zuccheri possono essere inibiti da una siccità continua. Tuttavia, la presenza di uno stress eccessivo in fase di maturazione, oltre alla riduzione della resa potenziale, determina un aumento del pH, un minore accumulo di solidi solubili, bassa acidità e minore formazione di sostanze coloranti e aromatiche. Questo spiega perché in annate molto siccitose un severo "stress idrico" può comportare anche una riduzione del grado rifrattometrico causato da una insufficiente elaborazione fotosintetica.

Un eventuale incremento del grado Brix potrebbe far credere che l'uva stia maturando: ciò è spesso il risultato della migrazione delle riserve di carboidrati della pianta o di una semplice disidratazione, non si tratta di carboidrati fotosintetizzati. Molti aromi tendono a svilupparsi nelle ultime settimane, ma lo stress tardivo può limitarne la produzione. Inoltre, lo stress idrico eccessivo determina un arresto della maturazione dei vinaccioli (che rimangono verdi), determinando la produzione di mosti e vini, caratterizzati dalla presenza di tannini astringenti.

## 2. Efficienza fotosintetica

I differenti scenari relativi alle emissioni di CO<sub>2</sub> nell'atmosfera fanno prevedere un incremento dell'attività fotosintetica pari al 30% (Fig.62).

**Figura 62**  
**Effetti dell'aumento delle temperature medie**



Come è noto l'efficienza dell'attività fotosintetica è legata essenzialmente a tre parametri climatici principali: l'intensità luminosa, la temperatura e la concentrazione di anidride carbonica. La risposta istantanea della vite all'incremento della concentrazione di CO<sub>2</sub> atmosferica si manifesta attraverso un miglioramento della fotosintesi. Shultz (2000) ha riscontrato un raddoppiamento della fotosintesi quando la concentrazione della CO<sub>2</sub> passa da 364 ppm a 605 ppm, con una temperatura fogliare di 34°C. La risposta della pianta comunque è differente allorquando si

parla di un'esposizione prolungata ad una concentrazione elevata di CO<sub>2</sub>: in questo caso la fotosintesi tende a ridurre la propria intensità per l'incapacità del sistema di traslocare con una velocità sufficiente i prodotti della fotosintesi. In uno studio sull'arricchimento in CO<sub>2</sub> dell'aria di lunga durata, Bindi et al (1996) hanno riscontrato una stimolazione all'accrescimento vegetativo, (+35% di superficie fogliare), e di efficienza fotosintetica, (+21%).

Questo effetto favorevole della CO<sub>2</sub> sulla fotosintesi deve, peraltro, essere ridimensionato dall'elevazione delle temperature diurne, combinato ad un incremento del deficit idrico. In tali condizioni termo-idriche la fotosintesi è limitata a causa della chiusura degli stomi e per effetto delle temperature eccessive delle foglie, che oltrepassano i 36°C, (la fotosintesi si annulla verso i 40-42°C). Inoltre, c'è da dire che durante il giorno, livelli di temperatura che oltrepassano i 35°C uniti ad un'esposizione al sole diretto possono determinare danni alle foglie esposte, le quali costituiscono la superficie fogliare più efficiente: queste seccano e cadono, con negative conseguenze sull'efficienza fotosintetica globale della pianta.

### **3. Ciclo vegetativo**

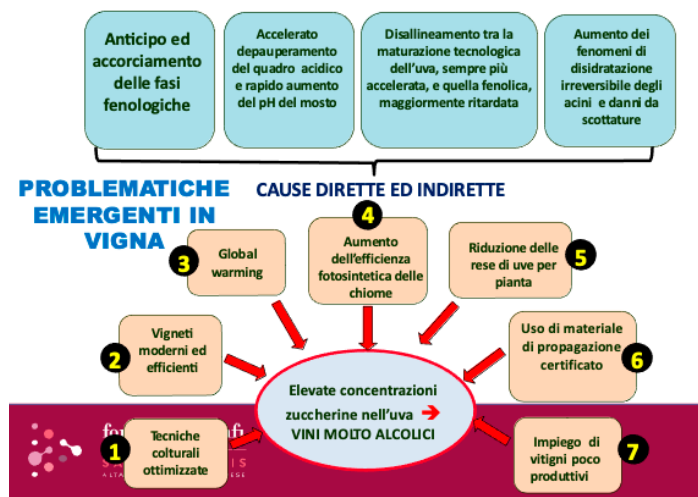
Le modificazioni climatiche indotte a causa dell'elevata concentrazione atmosferica dei gas ad effetto serra interessano l'insieme delle variabili climatiche, con impatti più o meno diretti sulla fisiologia e sul comportamento dei vigneti, che spesso sono difficili da prevedere. Anche le date di vendemmia hanno subito un anticipo di circa 1 mese in 50 anni anche se questo non sembra spiegabile se non con l'evoluzione delle tecniche colturali. Del resto, la diminuzione delle rese/ha e l'introduzione dei portinnesti a

seguito dell'epidemia di fillossera della fine del XIX° secolo ha determinato una modificazione della fisiologia della maturazione portando ad un anticipo della stessa.

La tendenza alla precocità della maturazione ha sicuramente avuto inizio prima dell'instaurarsi dei cambiamenti climatici, che non sono pertanto gli unici responsabili di queste modificazioni, come invece potrebbe sembrare. Il riscaldamento solleva inoltre un altro problema, cioè quello delle gelate primaverili in periodi particolarmente critici del ciclo vegetativo: inizia infatti ad essere sempre più frequente tra la fine di marzo e l'inizio di maggio trovare distrutti i primordi fiorali e danneggiamenti su grappoli e foglie. Questi eventi contribuiscono all'abbassamento delle rese.

Una delle conseguenze dello slittamento della fase di invaiatura verso il periodo più caldo dell'anno determinerà una modificazione importante del regime termico durante la maturazione. Nell'ipotesi di un riscaldamento di 2-3 °C, il periodo della maturazione, attualmente caratterizzato da notti con temperatura moderata, (temperature medie comprese tra 14 e 18°C), si sposterà verso un'epoca con notti più calde, (temperatura minima prevista di 18°C) (Fig.63).

**Figura 63**  
**Effetti del riscaldamento del clima sulla viticoltura**



## Strategie di adattamento della viticoltura dei prossimi anni

Le variabili meteorologiche hanno una notevole influenza sulle risposte vegeto-produttive della vite (*Vitis vinifera* L.) e sulla qualità del prodotto finale, sia in termini di uva che del risultato della sua trasformazione in vino.

Da un anno all'altro l'efficacia delle concimazioni e delle lavorazioni, le tecniche di potatura e difesa, ed in generale tutta la gestione del vigneto risultano fortemente condizionate dall'andamento meteorologico, determinando grandi variazioni quantitative e qualitative del prodotto. È quindi estremamente importante individuare strumenti di semplice applicazione che esprimano le relazioni fra condizioni meteorologiche e produzione enologica, in modo

da fornire agli operatori indicazioni circa l'andamento della stagione produttiva e gli interventi tecnici da mettere in atto per massimizzare il risultato della coltivazione.

Questo risulta estremamente importante soprattutto nel periodo attuale caratterizzato da un'estrema variabilità climatica, che aumenta le difficoltà gestionali, rendendo ogni stagione diversa dalla precedente e, in generale, le condizioni ambientali differenti da quelle tipiche degli ambienti produttivi che gli operatori erano abituati a gestire sulla base della propria esperienza e della conoscenza del luogo.

### **Incremento dell'efficienza produttiva delle scelte tecniche in campo (la viticoltura di precisione)**

In vista dei cambiamenti climatici programmati è indispensabile adottare un approccio metodico e scientifico relativamente alla determinazione delle vocazioni dei differenti terroir ed ancora di più dei singoli appezzamenti. Le precise informazioni che le nuove tecnologie ci consentono di ottenere relativamente a tutti i parametri climatici e geologico-pedologici devono consentire ai tecnici di modulare e diversificare le tecniche e gli interventi agronomici caso per caso, area, per area.

I risultati di indagini accurate si esplicano a due livelli sostanzialmente: un primo livello riguarda i vigneti in atto, per i quali le variazioni dei parametri climatici costituiscono l'elemento determinante per la risposta in termini di qualità e caratteristiche delle uve nonché conseguentemente dei vini. Un altro livello, invece, riguarda le informazioni che consentono di individuare aree potenzialmente interessanti per l'ottenimento di elevati livelli di maturazione. I fattori che determinano la qualità delle uve prodotte dal vigneto sono riconducibili all'ambiente di coltura, (clima e

terreno, fattori poco o per nulla modificabili), e alla tipologia del vigneto allestito dall'uomo (vitigno, portinnesto, densità di piantagione e potatura, forma di allevamento, tecniche di coltivazione ecc.), fattori più modificabili.

La qualità dipende soprattutto da dove si trova e da come è fatto il vigneto; appare quindi evidente che questa sia fortemente collegata alle caratteristiche del territorio viticolo considerato e alla tradizione viticola della zona. La vocazione viticola di un territorio dipende in primo luogo dal clima, che deve assicurare illuminazioni, temperature e apporti idrici idonei tali da permettere una soddisfacente maturazione delle uve cioè la presenza nella bacca di tutte le componenti qualitative, zuccheri, in primis, ma anche polifenoli qualitativamente di pregio.

Sulla qualità delle produzioni vitivinicole soprattutto in previsione degli effetti dei mutamenti climatici in corso incide anche il terreno, soprattutto quando le condizioni climatiche non sono limitanti e nella misura in cui «modula» l'azione del clima attraverso la sua capacità di ritenzione-cessione idrica e la sua capacità termica, nonché nella capacità di contribuire in modo opportuno alla nutrizione minerale della pianta. Mentre sulle componenti zuccherine delle bacche è predominante l'andamento climatico stagionale, frequentemente la composizione acidica delle stesse risulta maggiormente condizionata dalle caratteristiche del sito di coltivazione e dei terreni anche nella loro interazione con il decorso climatico stagionale.

L'acquisizione di informazioni utili a definire il comportamento vegeto-produttivo del Sangiovese nei diversi ambienti, soprattutto se fondate su rilievi poliennali, con la definizione delle correlazioni esistenti fra le principali variabili qualitative ed i rilievi registrabili mediante tecniche di *remote sensing* (telerilevamento), rappresenta un'im-



portante opportunità per lo sviluppo di un supporto che coadiuvi le aziende vitivinicole nell'esecuzione delle vendemmie e nella gestione del vigneto in genere (viticoltura di precisione).

La viticoltura di precisione garantisce alle aziende di ottenere una serie di informazioni sull'andamento dei ritmi di accrescimento delle piante e delle produzioni stagionali, impiegabili come supporto per le decisioni relative alle tecniche di coltivazione e di difesa da adottare, con il fine ultimo di massimizzare l'efficacia degli interventi, differenziandoli fra i diversi vigneti o le differenti porzioni degli stessi. L'esecuzione delle varie tecniche di coltivazione (fertilizzazione, trattamenti fogliari e di difesa, potature verdi, vendemmia) con il supporto di queste tecnologie è uno dei principali obiettivi della viticoltura di precisione.

## **Conclusioni**

Malgrado forti imprecisioni legate all'incertezza dei modelli di previsione a causa della complessità dei fenomeni oggetto di simulazione, alle incertezze riguardanti il rilascio in atmosfera di gas ad effetto serra da parte dall'attività antropica, condizionati dall'evoluzione demografica delle popolazioni, dagli aspetti economici e tecnologici, è comunque realistico pensare all'ipotesi di un incremento della temperatura media di 2 – 4°C in risposta al raddoppiamento della concentrazione di CO<sub>2</sub>.

La tendenza al riscaldamento attualmente registrata è la più importante e rapida rilevata da 1000 anni a questa parte: tale effetto è già evidente nel comportamento dei vigneti. Le conseguenze per la viticoltura sono multiple e per alcune di queste è ancora difficile fare delle previsioni. È comunque chiaro che il ciclo vegetativo sarà fortemente

influenzato dalla variazione del regime termico che si verrà a stabilire nel corso della maturazione e con buona probabilità ne verrà influenzata anche la tipicità dei vini (Fig.64)

**Figura 64**  
**Probabili effetti dell'aumento delle temperature sulla maturazione del Sangiovese**

## **Incremento termico e Sangiovese**

- **Influenza positiva sul contenuto totale in zuccheri e antociani (rischio zuccheri elevati)**
- **Diminuzione tannini astringenti**
- **Maggiore Quercetina (rischio precipitazioni di quercetina aglicone).**
- **Diminuzione acidità e aumento pH**
- **Diminuzione APA**

La pluviometria è il parametro climatico sul quale l'imprecisione dei modelli è maggiore. L'abbassamento dei valori medi attesi rimane moderato, ma la variabilità all'interno di ogni anno è difficile da prevedere. Questa evoluzione avrà un impatto variabile a seconda delle tipologie di suolo. Per contro, l'incremento della concentrazione di anidride carbonica, seppur tendenzialmente con effetti stimolanti sulle capacità produttive delle piante, sarà controbilanciata dalle modificazioni dei parametri termo-idrici. A queste evoluzioni si aggiungono altri parametri di difficile modellizzazione come l'aumento delle concentrazioni di ozono, dell'intensità delle radiazioni UV, suscettibili di perturbare il metabolismo di precursori di aromi, il rischio

di intemperie climatiche, gelate, venti, l'abbassamento delle dotazioni di sostanza organica dei terreni, l'incremento della pressione da parte dei parassiti della vite.

Il riscaldamento climatico avrà sicuramente un effetto significativo sulla produzione vitivinicola in tutto il mondo, ma in misura leggermente maggiore in Europa dove il riscaldamento sarà maggiore che nell'emisfero sud. Assisteremo a breve termine a dei cambiamenti nella qualità dei vini e nella loro tipicità, mentre più a lungo termine ad uno spostamento dei territori di produzione.

Le evoluzioni che riguarderanno il clima renderanno la viticoltura un'attività più rischiosa sul piano economico. E' ipotizzabile che i viticoltori riusciranno agevolmente a rispondere ad un incremento di 1-2°C, occorrerà invece effettuare importanti investimenti nel momento in cui le temperature oltrepasseranno i 3°C sia in campo, per esempio con l'adozione di sistemi di irrigazione nella maggior parte delle aree viticole, sia nella vinificazione con lo sviluppo di tecniche particolari come l'osmosi inversa (secondo i limiti previsti dalla legge), tecniche sicuramente costose, ma che permettono di mettere al sicuro la produzione (Fig.65).

**Figura 65**  
**Strategie di mitigazione e adattamento della viticoltura ai cambiamenti climatici**

## **STRATEGIE DI MITIGAZIONE**

### **BREVE TERMINE**

Cambiamento della tipicità dei vini con modificazione dei patrimoni aromatici e fenolici caratteristici

### **LUNGO TERMINE**

Spostamento dei territori di produzione caratteristici

### **PROSPETTIVE ED ESIGENZE PER IL FUTURO**

- ✓ Aumento dei rischi per la viticoltura
- ✓ Agevole adattamento per un incremento di 1-2° C
- ✓ Necessari interventi per incrementi > di 3° C
- ✓ Evoluzione di tradizioni e disciplinari di produzione
- ✓ Adattamento delle tecniche di coltivazione
- ✓ Adattamento delle tecniche di vinificazione

Il *terroir* viticolo in ogni regione è strettamente legato alle sue tradizioni; oggi i margini di manovra in termini di adattamento sono relativamente ridotti se comparati alle possibilità offerte dai Paesi del Nuovo Mondo. Si rende necessario affrontare in modo costruttivo certi dogmi che è necessario abbandonare in materia di tecniche vitivinicole attualmente non ammesse, per le quali i produttori vanno incontro a sanzioni ed alle quali devono sottostare per poter ottenere la Denominazione di Origine Controllata.

L'aumento dell'importanza dei vini del nuovo mondo negli ultimi 50 anni è senz'altro da ricercare nel miglioramento delle loro tecniche di coltivazione e vinificazione, cosa che consente ai produttori di mascherare gli effetti dei cambiamenti climatici; i vini europei, invece, per la cui

produzione le tecniche sono rimaste pressoché invariate durante questo periodo, gli effetti del clima hanno un'incidenza ampiamente superiore.

## Aspetti innovativi della tecnica colturale per valorizzare la risposta del vitigno all'ambiente

di *Alberto Palliotti*, Università degli Studi di Perugia

L'ambiente in cui viviamo ha subito in questi ultimi 2-3 lustri profondi cambiamenti riguardo sia la parte climatica che quella edafica, con pesanti ripercussioni nelle fasi fenologiche e nei processi fisiologici e metabolici. Gli effetti dei mutamenti del clima sono ormai palesi in numerose aree vitivinicole del pianeta con la comparsa di nuove problematiche, sostanzialmente imputabili al binomio "aumento della temperatura dell'aria - riduzione delle piogge", da una parte, e dall'intensificazione ed anticipo temporale dei fenomeni meteo estremi in estate, quali le "ondate di calore", dall'altra. Di fatto questi fenomeni si verificano sempre più precocemente, con le piante che non sono acclimatate e quindi molto vulnerabili.

Ciò sta minando la vocazionalità viticola in numerose aree del paese, le quali cominciano a manifestare disponibilità termiche in esubero rispetto ai fabbisogni dei vitigni tradizionalmente coltivati, oltre a fenofasi forzatamente anticipate. Le ultime fasi della maturazione coincidono sempre più di frequente con i periodi più caldi; una diretta conseguenza è un accumulo troppo rapido ed eccessivo di zuccheri nel mosto, spesso associato a scarsi livelli di acidità e colore, pH elevati e aromi atipici. Di conseguenza, i vini che ne derivano possono risultare troppo alcolici, poco freschi, cromaticamente insufficienti, dotati di una componente aromatica sbilanciata ed esposti a problemi di

stabilità e conservazione (Palliotti et al. 2014a). Tutto ciò non consente di produrre vini apprezzati dai consumatori odierni, ovvero caratterizzati da un moderato contenuto alcolico, freschi, vivaci e fruttati. Non meno problematici sono la comparsa di aromi sbilanciati verso i sentori tipici della sovra maturazione, cali significativi nelle rese produttive, fenomeni di fotoinibizione a carico delle foglie con clorosi e necrosi (Palliotti et al. 2009), disidratazioni spinte e scottature dell'uva fino ad arrivare nei casi più gravi alla compromissione dell'intero vigneto.

Occorre inoltre evidenziare che questi effetti negativi risultano aggravati nelle seguenti situazioni ambientali e tecniche: 1) vigneti collinari non irrigui; 2) vigneti con esposizioni e pendenze che favoriscono elevati irraggiamenti e temperature, quali esposizioni est, sud e sud-est e pendenze medio-elevate; 3) vigneti su terreni sciolti e sabbiosi o caratterizzati da una scarsa dotazione in sostanza organica; 4) vigneti con un limitato franco di coltivazione (es. terreni erosi, suoli pedemontani e montani); 5) vigneti con elevate densità di impianto caratterizzati da alti consumi idrici (Williams 2001).

In sintesi, a partire dal 2003 numerosi vigneti hanno iniziato a manifestare macroscopiche anomalie soprattutto nei processi di maturazione dell'uva, nonostante una adozione attenta e rigorosa di sistemi colturali ottimizzati e tecnicamente validi. Tra queste rientrano:

- Anticipo di tutte le fasi fenologiche;
- Accelerazione della maturazione tecnologica delle uve con un incremento del contenuto in zuccheri dei mosti e di conseguenza della gradazione alcolica dei vini;
- Accelerato depauperamento del quadro acidico dei mosti e aumenti del pH, che possono toccare alla vendemmia valori superiori a 3,5-3,6 con ripercussioni ne-

- gative sulla stabilità microbiologica delle masse in fase di pre-fermentazione;
- Disaccoppiamento tra la maturazione tecnologica dell'uva, sempre più accelerata, e la maturità fenolica, maggiormente ritardata con problematiche per i vitigni a bacca nera;
  - Aumento dei fenomeni di disidratazione spinta ed irreversibile degli acini sempre più frequentemente soggetti a gravi danni da scottature, che hanno di recente portato alcune aziende a stipulare polizze assicurative anche contro questa nuova e pericolosa tipologia di danno.

In pratica, aumenti progressivi della capacità di accumulo degli zuccheri nel mosto e della alcolicità dei vini sono stati evidenziati da tempo anche in aree viticole di altri paesi; in Napa Valley (California), ad esempio, Dokoozlian (2009) riporta che il livello medio degli zuccheri dei mosti di Cabernet Sauvignon è passato dai 21-22 °Brix del 1990 ai 24-25 °Brix nel 2008. Sempre in Napa Valley il tasso alcolico medio dei vini prodotti è cresciuto dal 12,5% al 14,8% nel periodo 1971-2001 (Vierra 2004). In Australia, nel periodo 1984-2004, si è passati da 12,3% a 13,9% di alcool nei vini rossi e da 12,2% a 13,2% nei bianchi (Godden e Gishen 2005).

Duchene e Schneider (2005) riportano che il grado alcolico potenziale delle uve di Riesling prodotte in Alsazia è aumentato del 2,5% negli ultimi 30 anni a causa di temperature più elevate nel corso della maturazione.

Anche le variazioni inerenti alle fasi fenologiche sono state ben documentate; il dato forse più eclatante è l'anticipo dell'epoca di vendemmia di oltre un mese evidenziato nello Chateauneuf du Pape (Francia) da Ganichot (2002) in un arco di 60 anni, cioè dal 1945 al 2005. Per il Montepulciano allevato in Abruzzo, invece, l'anticipo dell'epoca di vendem-



mia è stato calcolato in circa 14-15 giorni nella parte centrale della regione e della costa, mentre scende a circa 10 giorni nella parte costiera situata a sud (Di Lena et al. 2010). Nella regione vitivinicola tedesca Rheingau, Stoll et al. (2009) riportano che, negli ultimi 30 anni, le fasi di germogliamento ed allegagione del Riesling hanno mostrato anticipi di 10-17 giorni e l'invaiaitura di ben 14-21 giorni.

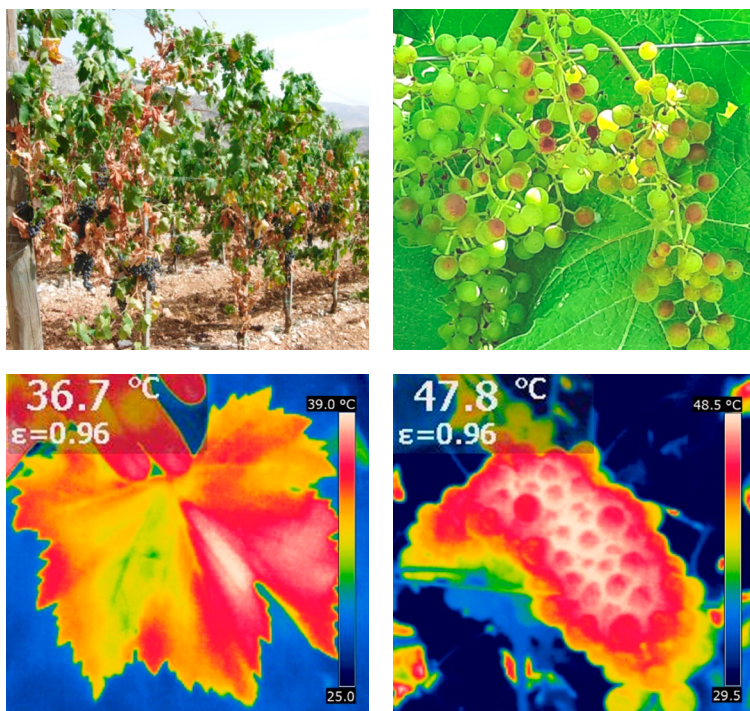
A livello fisiologico, l'aumento della frequenza e dell'intensità degli stress estivi, sia singoli sia multipli, inducono "fotoinibizioni croniche" a carico delle foglie cui seguono clorosi e necrosi (foto-danneggiamento) (Palliotti et al. 2014b). Questo tipo di stress, preceduto da fenomeni di "down-regulation foto-assimilativi", cioè da riduzioni intense e durature di fotosintesi netta, specie durante le ore centrali della giornata, merita grande attenzione, poiché riduce l'efficienza del vigneto, la produttività delle piante, il reintegro delle riserve nutrizionali e compromette la composizione dell'uva. Occorre tuttavia discernere le varie tipologie di stress abiotici estivi, ovvero idrico e termico, riguardo sia la sintomatologia che i relativi effetti che, a volte, si verificano singolarmente ma, sempre più spesso, insorgono in forma associata:

### **1. Stress termico (sintomatologia ed effetti)**

Le temperature elevate, superiori a 35 °C, pur non accompagnate da carenza idrica, possono causare disidratazioni spinte e danni da scottature dell'uva, mentre raramente sono responsabili di danni significativi a carico dei tessuti fogliari (Fig.66).

**Figura 66**

**Sintomi evidenti di fotoinibizioni croniche con clorosi e necrosi a livello fogliare, scottature solari in acini di Trebbiano toscano rilevate i primi di luglio 2019 e termografia di foglie e grappoli esposti al pieno sole con temperature medie rispettivamente di oltre 36 e 47 °C**



Il perché di questo diverso comportamento risiede nelle modalità di trasporto dell'acqua all'interno dei due organi: nelle foglie l'apporto continuo di acqua mediante il sistema xilematico rifornisce i relativi tessuti indipendentemente dalla fase fenologica ed i meccanismi preposti alla termoregolazione operano efficacemente. Negli acini, invece, a

causa della perdita di funzionalità dei vasi xilematici già in invaiatura, l'afflusso di acqua da questa fase in poi è principalmente di natura floematica; l'acino si viene quindi a trovare in una condizione di quasi isolamento idraulico dalla pianta madre ed ogni qual volta la domanda evaporativa dell'ambiente diviene particolarmente forte (es. con temperature fogliari  $>35$  °C ed umidità relativa dell'aria  $<30\%$ ) gli acini esposti direttamente ai raggi solari sono facilmente soggetti ad eccessive e continue perdite d'acqua per evaporazione, soprattutto cuticolare. La difficoltà di reintegrare rapidamente tali perdite conduce a diminuzioni del turgore, del volume e del peso dell'acino, con fenomeni di raggrinzimento. I danni possono intensificarsi ulteriormente per il perdurare degli stress termici e portare a vere e proprie scottature degli acini con gravi necrosi a livello di tessuti sia dell'epidermide che della polpa.

A dimostrazione di ciò vi è il fatto che molto spesso i grappoli permanentemente ombreggiati e le parti dei grappoli in ombra, ovvero gli acini che si trovano nella parte opposta a quella direttamente esposta ai raggi solari, mantengono un accettabile turgore cellulare, mentre la porzione di grappolo rivolta all'esterno e quindi direttamente esposta alla luce e agli eccessi termici mostra vistosi fenomeni di raggrinzimento e/o imbrunimento, spesso associati anche a necrosi (Fig.67).

**Figura 67**

**Stress da calore: grappoli esterni completamente disidratati e lamine fogliari turgide e sane in vigneti di Sangiovese (A) e Pinot nero (B) con elevate disponibilità idriche per la presenza rispettivamente dell'irrigazione a goccia e dell'equiseto, specie semiacquatica tipica di zone umide. In C, grappolo di Pinot nero esterno alla chioma con evidenti danni da scottature mentre il grappolo interno, coperto da foglie, risulta perfettamente turgido e idratato**



## **2. Stress idrico (sintomatologia ed effetti)**

Gli stress idrici non accompagnati da eccessi termici, come talvolta accade in ambienti montani e/o pedemon-

tani caratterizzati da un franco di coltivazione modesto, normalmente inducono un rallentamento della crescita dei germogli; quando però diventano severi causano disidratazione e necrosi dell'apice vegetativo, arresto dell'accrescimento dei germogli e scarsa superficie fogliare (Fig. 68 A). Talvolta si verificano ingiallimenti precoci, soprattutto nelle foglie basali (Fig. 68 B).

A livello produttivo, lo stress idrico riduce la resa d'uva, imputabile ad un significativo calo della funzionalità fotosintetica, e aumenta il contenuto in zuccheri sia per effetto di una loro concentrazione, a causa della disidratazione dell'acino, sia perché si genera una minore competizione per l'accumulo a causa delle diminuite rese produttive.

**Figura 68 A**

**Viti allevate in vaso e mantenute al 90% (1° e 2° filare da sinistra) ed al 40% (3° e 4° filare da sinistra) della capacità idrica massima dall'allegazione all'invaiaitura. Si noti la modesta lunghezza dei germogli e la scarsa fogliosità nelle viti sottoposte a stress idrico precoce**



**Figura 68 B**  
**Viti di Aleatico con vistosi ingiallimenti a carico delle foglie basali**  
**causate da carenza idrica**



### **3. Stress idrico + termico (sintomatologia ed effetti)**

In numerosi comprensori vitivinicoli ormai sempre più di frequente gli stress estivi si presentano congiunti, ovvero carenza idrica ed eccessi termici/radiativi. Quando questi stress divengono elevati si verificano fotoinibizioni e foto-danneggiamento a carico dei tessuti vegetali, visivamente manifestati da clorosi e necrosi (Fig. 69).

Inizialmente sono interessate le foglie basali per proseguire poi, quando la situazione diventa grave, con quelle mediane ed apicali. Queste disfunzioni irreversibili si determinano quando l'energia di eccitazione supera la capacità di assimilazione della CO<sub>2</sub> e/o quando i meccanismi di riparazione diventano inefficienti. In queste situazioni, i tessuti fogliari deviano il normale metabolismo e perdono

la capacità di dissipare efficacemente l'energia in eccesso, poiché i meccanismi preposti a tale funzione collassano. Si assiste infatti all'azzeramento della traspirazione fogliare in conseguenza della totale chiusura degli stomi, alla rottura del ciclo delle xantofille (depossidazione della violaxantina in zeaxantina e anteroxantina) e della fluorescenza della clorofilla, ad aumenti della foto-respirazione con elevate produzioni di composti reattivi all'ossigeno (ROS) (Palliotti et al. 2015). Risultato: fisiologia di base pressoché azzerata, rese produttive limitate, qualità totalmente compromessa e seri rischi di morte delle viti per disseccamento, come è accaduto nelle annate 2003, 2007, 2012, 2015 e 2017 (Fig.5).

Le alte temperature in sinergia con alte intensità luminose e carenza idrica alterano la stabilità delle membrane cellulari, favoriscono la denaturazione delle proteine cui seguono modifiche a livello morfo-fisiologico e metabolico dei tessuti dei vari organi epigei con conseguenti fenomeni di clorosi e necrosi fogliari, dovute a fotoinibizioni croniche, e danni da scottature solari a carico degli acini (Palliotti et al. 2009 e 2014). Inoltre, a livello compositivo gli shock termici compromettono l'accumulo di aromi primari, inclusi alcuni precursori, e degli antociani, e causano rapidi aumenti a carico degli zuccheri e del pH, blocchi nel metabolismo dei fenoli e drastici cali di acidità, soprattutto malica.

**Figura 69**  
**Vigneti a rischio di sopravvivenza per carenza idrica prolungata ed eccessi termici/radiativi**





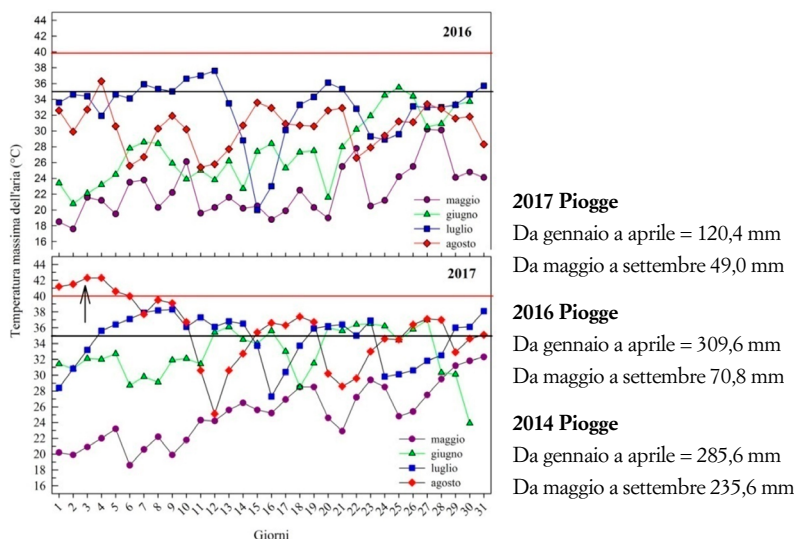
L'emergenza che abbiamo vissuto in quasi tutti gli areali vitivinicoli d'Italia nell'estate del 2017, che ha determinato forti decurtazioni produttive, pessima qualità delle uve e seri rischi per la sopravvivenza delle viti, è dipesa in massima parte da stress da calore (*heat shock*) accompagnati da forte carenza idrica. Dal punto di vista pratico, in questi casi è utile definire parametri e/o formule semplici, ma che consentono di intervenire tempestivamente; un aiuto in tal senso ci viene dall'*Australian Grape and Wine Authority* che definisce rischioso lo stress da calore quando le temperature massime dell'aria sono superiori a 35 °C per 2-3 giorni consecutivi oppure con temperature massime maggiori di 40 °C per un solo giorno.

Basterebbe pertanto un monitoraggio giornaliero delle temperature massime dell'aria per avere informazioni utili. Nel 2017, ad esempio, oltre ad una forte limitazione nelle piogge da gennaio a settembre (con -125% rispetto al 2016 e addirittura -149% rispetto al 2014 annata decisamente piovosa) (Fig. 70), questi limiti sono stati largamente superati in molti areali vitivinicoli. In Figura 70 si riporta, a titolo di esempio, quello che è accaduto nel bacino del lago Trasimeno in Umbria, dove contrariamente al 2016, a giugno 2017, precisamente negli intervalli 12-16 e 20-27, la temperatura massima ha superato i fatidici 35 °C; in luglio la stessa situazione si è presentata dal 4 al 14, dal 19 al 23 e dal 29 al 31, mentre ad agosto, fatta eccezione dell'intervallo 11-14 in tutti gli altri giorni del mese le temperature massime sono risultate superiori alla soglia dannosa di 35 °C. Riguardo invece la punta critica di 40 °C per almeno un giorno, il decorso termico ha evidenziato dal 1 al 6 agosto tale situazione in modo continuativo, con punte massime di 42,3 °C verificatesi esattamente il 3 e 4 agosto. In tale annata, che ha visto ben 44 e 6 giornate con temperature

massime dell'aria superiori rispettivamente a 35 e 40 °C (contro soltanto 11 e 0 riscontrate nell'anno precedente) il problema dominante, difficile da contrastare in campo, è rappresentato proprio dalle alte temperature che foglie ed acini mostrano durante le ore più calde di numerose giornate di luglio ed agosto, con valori che possono superare 49-50 °C (ben 8-10 °C in più rispetto alla temperatura dell'aria).

Ciò causa, come già detto sopra, il blocco totale dell'attività fisiologica e l'avvio di fenomeni di fotoinibizioni irreversibili con clorosi e necrosi a carico dei tessuti. L'uva posizionata esternamente alla chioma subisce eccessive disidratazioni e scottature solari e diviene pertanto non vendemmiabile.

**Figura 70**  
**Andamento giornaliero delle temperature massime dell'aria da maggio ad agosto 2016 e 2017 nel comprensorio del lago Trasimeno (Perugia, Umbria)**



## Tecniche di gestione della chioma flessibili e non

Il *global warming* sta generando aree di produzione nelle quali le deviazioni meteo dannose per gli attuali schemi di coltivazione, ottimizzati e utilizzati da tempo con successo, sono piuttosto ricorrenti e aree dove invece sono piuttosto sporadiche, ma non per questo meno dannose. Nel primo caso sono utilizzabili tecniche di gestione della chioma, alcune di recente messa a punto, caratterizzate da debole flessibilità, nel senso che si applicano all'inizio della stagione senza sapere in realtà se poi gli stress estivi si verificheranno. Nel secondo caso invece possiamo includere tecniche flessibili da utilizzare anche a stagione avanzata e solo se si verificano condizioni critiche (Tab.9).

Tabella 9

**Effetti sulla resa di produzione, sull'epoca ottimale di vendemmia e sulla composizione delle uve di tecniche di gestione della chioma flessibili e non = ininfluyente; ↑ aumento (o posticipo); ↓ diminuzione (o anticipo); nd non determinato**

n.	Tecniche flessibili	Resa	Zuccheri	Acidità	Antociani	Polifenoli	Aromi primari	Epoca di vendemmia
1	Defogliazione in post-invaiaatura nella parte medio-alta della chioma	=	↓	=	=	=	=	
2	Cimatura severa e/o tardiva dei germogli	↓	↓	=	=	=	nd	↑
3	Antitraspiranti in post-invaiaatura	=	↓	=	↓	=	=	=
4	Reti schermanti	=	↓	↑	↓	=	-	↑
5	Caolino	↑	=	↑	↑	=	nd	=
6	Irrigazione sovrachioma refrigerante	↑	↓	↑	nd	nd	↑	↑
7	Complessazione della chioma	↑	=	↑	↑	=	nd	↑
	<b>Tecniche non flessibili</b>							
8	Potatura tardiva in post-germogliamento	↓	↓	↑	↑	↑	nd	↑
9	Rifinitura in post-germogliamento di viti pre-potate meccanicamente	↓	=	↑	↑	↑	nd	↑

La maggior parte di queste tecniche agiscono soprattutto sulla maturazione tecnologica delle uve con rallentamenti nella capacità di produzione e accumulo di zuccheri nei mosti, poiché si basano sull'induzione di stress fotosintetici calibrati (tecniche 1, 2, 3, 4) e nel posticipare talvolta l'epoca ottimale di vendemmia.

Altre agiscono sull'induzione di meccanismi di competizione nutrizionale tra i vari organi della pianta (tecniche 7, 8, 9 ed in parte anche la 2), altre ancora agiscono riducendo o limitando gli stress termici e radiativi (tecnica 5, 6 ed in parte la 4 e la 7), poiché esercitano un effetto schermante cui segue una riduzione della temperatura sia delle foglie che degli acini.

La limitazione nell'accumulo degli zuccheri nel mosto conseguibile con molte delle tecniche riportate in tabella 10 può essere utile anche per evitare aggravamenti di costi in cantina imputabili ad una eventuale de-alcolizzazione dei vini finiti con mezzi fisici (es. osmosi inversa, nanofiltrazione, distillazione osmotica e distillazione in corrente di vapore), autorizzata in tutti i paesi dell'UE fino ad un massimo del 2% in volume con il Reg. CE n. 606/2009.

A tal riguardo occorre però specificare che con queste tecniche si possono manifestare significative depauperazioni organolettiche e sensoriali a carico dei vini trattati (Modesti et al. 2022). Inoltre, un problema particolarmente grave soprattutto nei vitigni a bacca bianca è oggi rappresentato dalla perdita rapida ed eccessiva dell'acidità titolabile, in generale, e dell'acido malico, in particolare, causata dalle alte temperature estive che incrementano i tassi di respirazione cellulare provocando allo stesso tempo pericolosi aumenti del pH dei mosti. Le tecniche 4, 5, 6, 7, 8 e 9 consentono di rallentare la degradazione degli acidi organici dell'uva preservandone le relative concen-

trazioni e mantenendo il pH a valori accettabili, ovvero non superiore a 3,4-3,5. Questa lista di tecniche *antiglobal warming*, scientificamente provate e funzionali, può essere utilizzata come un *vademecum* specifico, in cui ogni viticoltore può trovare quella più consona in funzione della tipologia ed intensità degli stress incipienti e dei relativi costi da sopportare.

## Tecniche flessibili

### 1. Defogliazione in post-invaiaatura nella porzione medio-alta della chioma

Nelle annate particolarmente calde e/o in aree siccitose, ove la maturazione tecnologica dell'uva risulta accelerata con accumuli elevati ed anticipati di zuccheri nel mosto e perdite eccessive di acidità, una defogliazione in post-invaiaatura con l'eliminazione di una quantità sufficiente di foglie funzionali nella porzione medio-alta della chioma (Fig.71) rallenta la maturazione grazie ad una riduzione del rapporto "superficie fogliare/produzione", evitando nel contempo una vendemmia troppo anticipata e i possibili scadimenti qualitativi che ne conseguono (Tab.10) (Palliotti et al. 2013a).

I vini prodotti con uve maturate troppo rapidamente presentano infatti gravi inconvenienti, quali: eccessiva perdita di colore e scarsa polimerizzazione dei tannini; smisurato sapore amaro e forti note vegetali conseguente l'elevata estraibilità delle proantocianidine dai vinaccioli; quadro aromatico particolarmente povero ed inespresso.

Nello specifico, l'eliminazione del 35% della superficie fogliare (pari a 1,5 m<sup>2</sup>/ceppo) ha indotto una riduzione del rapporto "superficie fogliare/uva" del 36% (ovvero 0,64 m<sup>2</sup>/kg), degli zuccheri nel mosto di ben 1,2 °Brix e di 0,6%

di alcol nei vini, senza penalizzare gli altri parametri compositivi sia dell'uva che dei vini (Tab.10).

**Figura 71**

**Defogliatrice meccanica al lavoro sulla parte medio-alta della chioma (A) e particolare della finestra aperta nella chioma dopo due passaggi della macchina per ciascun filare (B)**



Oltre alla semplicità di esecuzione e ai costi contenuti, questa tecnica consente di ritardare la vendemmia fino a due settimane e pertanto può essere adatta per ampliare il periodo utile di vendemmia in specifici appezzamenti, come può accadere quando si hanno elevate superfici del medesimo vitigno o di vitigni a maturazione contemporanea e si vogliono evitare svinature anticipate con perdite di colore, tannini e profumi.

Epoca di esecuzione: per essere efficace questa tecnica deve essere applicata quando il contenuto zuccherino delle uve è intorno a 13-14 °Brix ed è necessario rimuovere almeno il 30-35% delle foglie presenti nella parte medio-alta della chioma, ovvero quelle più giovani ed efficienti dal punto di vista fotosintetico.

Modalità di esecuzione: meccanicamente con defogliatrice e tempi operativi di 2-3 ore/ha.

**Tabella 10**

**Effetti del trattamento di defogliazione meccanica eseguita in post-invaiaura nella porzione medio-alta della chioma sulla produttività delle piante e sulle caratteristiche compositive dell'uva di Sangiovese alla vendemmia e dei vini dopo 3 mesi di affinamento (dati medi biennio 2011/2012)**

**Le medie accompagnate da lettere diverse sono significativamente differenti per  $P \leq 0,05$**

	Non Defogliato	Defogliato in post-invaiaura
Produzione (kg/vite)	2,51 a	2,63 a
Peso grappolo (g)	250 a	243 a
Peso acino (g)	2,05 a	2,03 a
Zuccheri ( $^{\circ}$ Brix)	23,9 a	22,7 b
Acidità titolabile (g/L)	6,35 a	6,15 a
pH del mosto	3,26 a	3,31 a
Antociani totali (g/kg)	1,08 a	1,10 a
Polifenoli totali (g/kg)	2,11 a	2,01 a
Superficie fogliare/uva (m <sup>2</sup> /kg)	1,77 a	1,13 b
<b>Vini</b>		
Alcol (% vol.)	14,0 a	13,4 b
Acidità totale (g/L)	6,16 a	6,39 a
pH	3,34 a	3,30 a
Estratto secco totale (g/L)	24,1 a	23,6 a
Antociani totali (mg/L)	270 a	260 a
Polifenoli totali (mg/L)	1605 a	1570 a
Tannini totali (mg/L)	890 a	932 a
Intensità colorante (DO <sub>420nm</sub> + DO <sub>520nm</sub> )	7,1 a	6,9 a
Tonalità colorante (DO <sub>420nm</sub> /DO <sub>520nm</sub> )	0,62 a	0,65 a

Sotto il profilo tecnico, una defogliazione meccanica che riguarda una porzione di chioma lontana dai grappoli è particolarmente agevole da effettuare, poiché l'operatore non si deve preoccupare di eventuali danni ai grappoli e ciò rende possibile anche una maggiore velocità di esecuzione.

## **2. Cimatura severa e/o tardiva dei germogli**

Una strategia di rallentamento della maturazione può essere basata sullo sfruttamento dei rapporti di competizione di crescita tra germogli ed acini. In condizioni di buon equilibrio, la crescita dei germogli rallenta subito dopo la fioritura e si arresta in prossimità dell'invasatura in modo da privilegiare i processi di maturazione nell'acino ed evitare i fenomeni di competizione nutrizionale ed idrica tra questi due organi. A seguito del mutare delle potenzialità di maturazione, che risultano anticipate, si può indurre uno spostamento in avanti della curva di crescita dei germogli tale da innescare processi di competizione vegetativa utile per rallentare la maturazione dell'uva.

Il problema diviene pertanto quello di indurre una crescita di femminelle calibrata e giustamente competitiva. La tecnica più affidabile è quella che utilizza l'epoca e la severità di cimatura dei germogli per stimolare la produzione di femminelle; nel caso specifico l'interesse sarebbe nei confronti di cimature più tardive o severe in grado però di far sviluppare un giusto numero di femminelle funzionali e capaci di svolgere un'azione competitiva.

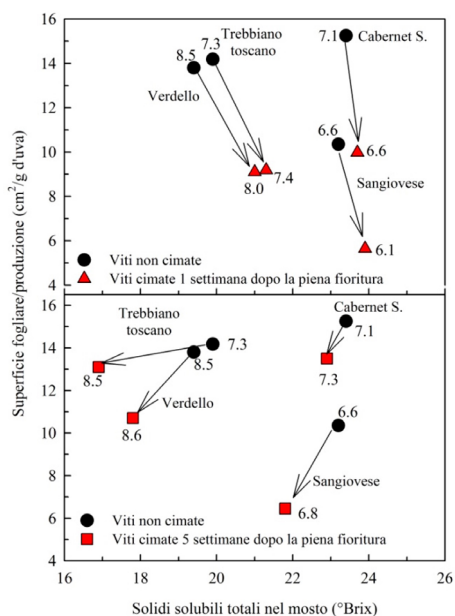
Interventi drastici di cimatura dei germogli effettuati all'allegagione su Riesling hanno indotto un ritardo di maturazione di circa 20 giorni ed una riduzione della capacità di accumulo degli zuccheri nel mosto di oltre 4 °Brix (Stoll et al. 2009). Su Grenache e Tempranillo, cimature dei germogli particolarmente anticipate ed aggressive, ovvero taglio eseguito dopo l'allegagione subito al di sopra del grappolo distale, hanno ridotto il rapporto "superficie fogliare/uva" e, allo stesso tempo, rallentato il processo di maturazione con cali significativi a carico del



contenuto in zuccheri, antociani e polifenoli totali e del pH nel mosto, nonché del peso del grappolo e dell'acino (Balda e Martinez de Toda 2011). Indagini meno recenti eseguite in Umbria su differenti vitigni sia a bacca nera che bianca allevati a cordone libero hanno evidenziato come le cimature dei germogli eseguite tardivamente, cioè 5 settimane dopo la piena fioritura, contrariamente a quelle precoci, applicate 1 settimana dopo la fioritura o ai controlli non cimati, determinano rallentamenti nell'accumulo degli zuccheri e nella degradazione degli acidi organici posticipando pertanto l'epoca ottimale di vendemmia (Fig. 72) (Cartechini et al. 1998).

Figura 72

Relazione tra l'accumulo degli zuccheri nell'uva ed il rapporto "superficie fogliare/uva" in differenti vitigni a bacca bianca e nera allevati a cordone libero non cimati e sottoposti a cimature dei germogli 1 e 5 settimane dopo la piena fioritura. I numeri in prossimità dei simboli sono le acidità titolabili dei mosti rilevati in vendemmia



Indipendentemente dal vitigno e dall'annata, questi risultati sono per lo più imputabili a due effetti primari: 1) riduzione del rapporto "superficie fogliare/uva"; 2) competizione nutrizionale tra lo sviluppo delle femminelle di neoformazione e la fase di accumulo nell'uva. È ovvio che i risultati attesi dalle cimature tardive sono strettamente vincolati, oltre che all'epoca ed intensità dell'intervento, anche alla vigoria del sito di coltivazione e ai fattori ambientali, piogge *in primis*, che possono favorire lo sviluppo tardivo delle femminelle e/o un procrastinamento dell'accrescimento degli acini indispensabile per ottenere quella competizione nutrizionale necessaria ad indurre un rallentamento dei processi di maturazione dell'uva, incluso l'accumulo degli zuccheri.

Da questo punto di vista, il posticipo dell'epoca di cimatura, appropriatamente valutato in funzione di eventuali stress estivi che solitamente accelerano la maturazione tecnologica delle uve, può oggi consentire di posticipare la vendemmia, limitare l'alcolicità potenziale dei vini e mantenere livelli superiori di acidità sia nelle uve che nei vini. Di recente è stato inoltre dimostrato come le cimature molto tardive, eseguite cioè in fase di maturazione avanzata, a 15-17 °Brix di zuccheri nel mosto, consentono di ridurre l'alcolicità potenziale dei vini e/o di posticipare l'epoca di vendemmia senza interferire negativamente con l'accumulo di antociani e tannini (Filippetti et al. 2015).

### **3. Antitraspiranti in post-invaiatura**

Un'altra tecnica in grado di indurre un calibrato calo di fotosintesi è l'applicazione, alla chioma intera o nella parte medio-alta, di prodotti antitraspiranti abili nel causare una parziale, ma consistente e duratura, chiusura degli

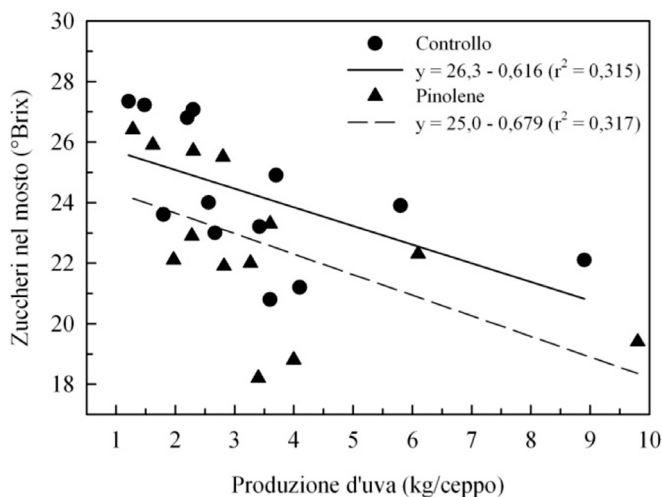
stomi delle foglie utile a controllare le perdite di acqua per traspirazione senza pregiudicare completamente l'ingresso della CO<sub>2</sub> da organizzare con la fotosintesi. Recentemente l'efficacia di applicazioni sul vigneto di un antitraspirante di origine naturale ottenuto per distillazione dalle resine delle conifere, ovvero il VaporGard® a base di pinolene (principio attivo: di-1-*p*-menthene, C<sub>20</sub>H<sub>34</sub>) in post-invaiatura è stato testato su differenti vitigni (Palliotti et al. 2013b).

Il prodotto, una volta irrorato, evapora nel giro di poche ore lasciando sulle foglie un sottile film trasparente che limita in maniera parziale gli scambi gassosi (-30÷70% rispetto ai controlli non trattati) per un periodo di circa 40-50 giorni e, una volta degradato, consente alla foglia stessa un recupero di funzionalità pressoché totale. Indagini eseguite fin dal 2008 con applicazioni tardive in post-invaiatura di VaporGard® al 2% hanno evidenziato una riduzione costante e significativa dell'accumulo degli zuccheri nel mosto e quindi dell'alcolicità dei vini ed un rallentamento della maturazione dell'uva indipendentemente dall'annata (dal 2008 al 2011), dal vitigno (Sangiovese, Tocai rosso, Trebbiano toscano e Grechetto) e dalla carica produttiva (da 7 a 32 t/ha di uva) (Fig. 73).

Nelle uve delle viti trattate con l'antitraspirante è stata evidenziata una leggera contrazione di antociani variabile in funzione del vitigno, dell'annata e del carico produttivo, mentre la frazione dei polifenoli risulta meno influenzata. Tuttavia, nelle cultivar naturalmente ricche in antociani estraibili (> 1 g/kg d'uva) quali: Sagrantino, Marselan, Lagrein, Enantio, Rebo, Marzemino, Croatina, Merlot, Shiraz, Montepulciano, ecc., questo calo in antociani, variabile dal 10% al 20%, potrebbe essere sostenibile. In sintesi, applicazioni tardive con l'antitraspirante VaporGard sono certamente utili nei casi in cui l'obiettivo primario sia quello di ridurre e/o rallentare l'accumulo degli zuccheri nel mo-

Figura 73

Correlazione tra la produzione d'uva a ceppo e l'accumulo di zuccheri nel mosto in differenti vitigni sottoposti a trattamento tardivo con l'antitraspirante VaporGard® (2%) e non trattati. I dati si riferiscono al quadriennio 2008-2011 e riguardano vigneti di Sangiovese, Tocai rosso, Trebbiano toscano e Grechetto con differenti cariche produttive



sto con l'intento di diminuire l'alcolicità dei vini; a tal fine è necessario: 1) irrorare soprattutto la pagina inferiore delle foglie al fine di ottenere una buona copertura delle aperture stomatiche indispensabile per ridurre l'attività fotosintetica; 2) intervenire quando la concentrazione degli zuccheri nel mosto è approssimativamente intorno a 13-14 °Brix.

#### 4. Reti schermanti

L'imposizione di uno stress fotosintetico può essere indotta con tecniche di ombreggiamento totale o parziale della chioma per mezzo, ad esempio, di reti schermanti neutre utili anche per altre finalità. Oltre a preservare la

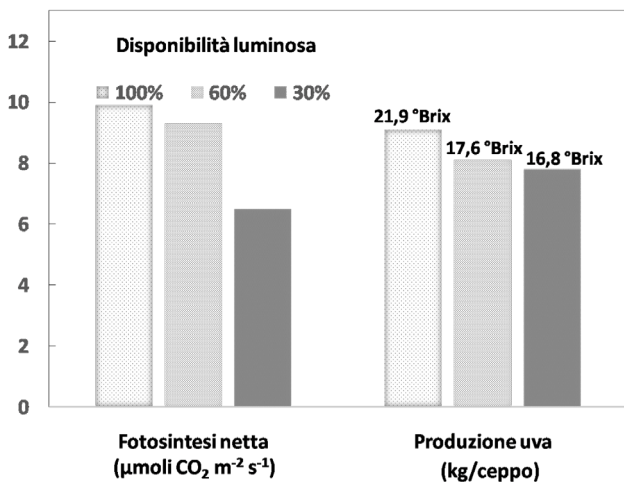
produzione da eventuali danni da grandine, un ombreggiamento limitato alla fascia dei grappoli aiuta certamente nel contenere il surriscaldamento dei grappoli e quindi nel preservare una frazione più elevata di acido malico, componente essenziale in un'ottica di vinificazione per vini bianchi frizzanti e/o base spumante.

L'ombreggiamento sia artificiale che naturale molto spesso ritarda la maturazione dell'uva e riduce la capacità di accumulo di zuccheri, antociani e polifenoli, mentre rallenta la degradazione degli acidi organici. Recentemente è stato accertato che questi risultati sono imputabili maggiormente all'ombreggiamento delle foglie piuttosto che a quello dei grappoli e con riferimento ai flavonoidi questi effetti sono principalmente collegati all'espressione dei geni responsabili della loro biosintesi. Tuttavia, su Cabernet Sauvignon sono stati riscontrati significative riduzioni a carico dell'accumulo degli antociani a seguito di ombreggiamenti dei soli grappoli all'invaiaatura a causa della soppressione e/o ritardo dell'accumulo di mRNA del gene *VvmybA1* (gene putativo della regolazione della biosintesi degli antociani).

A questo riguardo studi eseguiti sullo stress da carenza luminosa relativo all'intera chioma hanno messo in evidenza come l'ombreggiamento artificiale delle chiome di Sangiovese realizzato ponendo in opera, prima del germogliamento, reti schermanti neutre capaci di attenuare del 40% e del 70% la piena luce solare, hanno ridotto in modo rilevante l'attività fotosintetica delle foglie durante l'intera giornata (Fig. 74) con ripercussioni negative sulla produttività unitaria (-11% e -14% rispettivamente nella tesi schermata 40% e 70% rispetto al controllo sviluppato alla piena luce solare), sull'accumulo degli zuccheri nel mosto (rispettivamente -4,3 e -5,1 °Brix) e sulla degrada-

**Figura 74**

Andamento giornaliero della fotosintesi netta rilevato durante la fioritura nelle foglie mediane di viti di Sangiovese sviluppate al 100%, 60% e 30% della piena luce solare. Nel grafico sono riportati anche la produzione a ceppo e la concentrazione di zuccheri ed acidi organici del mosto alla vendemmia



zione degli acidi organici, con uve maggiormente acide nelle chiome ombreggiate (Cartechini e Palliotti 1995).

## 5. Caolino

Nei periodi estivi particolarmente caldi e siccitosi trattamenti alla chioma con l'argilla bianca caolino inducono un vero e proprio effetto "sunscreen", con riduzioni apprezzabili della temperatura dei tessuti (fino a oltre 7-8 °C) grazie all'elevata riflessione della radiazione solare (Fig.75).

**Figura 75**

**Trattamento con caolino alla dose di 3 kg/100 litri d'acqua eseguito il 3 agosto 2017 dopo alcune giornate con temperature massime dell'aria superiori a 42 °C e particolare di foglie e grappolo 1 settimana dall'irrorazione**



Ciò riesce a contenere le fotoinibizioni preservando l'integrità delle foglie che, contrariamente a quelle non trattate, riprendono la normale attività fotosintetica dopo il passaggio dello stress da calore; le rese vengono in tal modo protette così come la composizione dell'uva, in particolare acidità e colore (Tab. 11) (Palliotti et al. 2017). Tecnicamente, l'applicazione del caolino può essere ese-

guita monitorando le temperature dell'aria ed utilizzando, ad esempio, la formula *dell' Australian Grape and Wine Authority* (sopra citata), ovvero iniziare a trattare quando la temperatura massima supera 40 °C per almeno un giorno o se la stessa supera 35 °C per 2-3 giorni consecutivi.

**Tabella 11**

**Rese produttive e composizione dell'uva in viti di Pinot nero sottoposte a trattamento con caolino e controllo non trattato**  
**Le medie accompagnate da lettere diverse sono significativamente differenti per  $P \leq 0,05$**

	Controllo	Caolino
Produzione (kg/vite)	1,12 b	1,45 a
Peso grappolo (g)	110 b	148 a
Zuccheri (°Brix)	23,0 a	23,2 b
Acidità titolabile (g/L)	5,4 a	6,0 a
pH del mosto	3,26 a	3,28 a
Antociani totali (g/L)	240 b	325 a
Polifenoli totali (g/L)	916 a	910 a

Ovviamente dopo ogni pioggia l'efficacia del prodotto diminuisce ed è necessario un nuovo trattamento. A tal fine per aumentare l'aderenza e la resistenza è possibile addizionarlo di opportuni adesivanti, ottimo risulta il Nu-Film-P (Biogard) costituito dal polimero terpenico pinolenne ottenuto dalla distillazione delle resine di conifere.

Al fine di contenere le dosi può essere proficuo utilizzare il caolino non su tutto il vigneto, ma soltanto sulle pareti dei filari assolati nel pomeriggio, poiché più sensibili agli stress da calore. Infine, i costi risultano contenuti, ovvero irrorando solo metà di ogni filare (50% del vigneto) sono richiesti circa 18-20 euro/ha per trattamento; si tratta pertanto di una tecnica che, oltre ad essere efficace e quindi da tenere in debita considerazione nelle annate critiche,



è di fatto anche economica, veloce da applicare, flessibile e non richiede particolari attrezzature e/o professionalità.

## **6. Irrigazione sovra-chioma climatizzante**

L'irrigazione sovra-chioma ad effetto climatizzante può costituire una tecnica molto valida poiché, con un fabbisogno idrico piuttosto modesto, può efficacemente "raffreddare" il vigneto nei momenti di maggior criticità preservando elementi chiave della qualità delle uve, in particolare gli aspetti di acidità ed aromaticità (Paciello et al. 2016).

In questo sistema, che si realizza con il montaggio di particolari nebulizzatori, l'effetto di raffrescamento sfrutta il passaggio dalla fase liquida a quella di vapore che, assorbendo energia sotto forma di calore, precisamente 510 kcal/litro, comporta di fatto un raffreddamento dell'ambiente circostante. Sulla base di ciò, nell'estate del 2013 è stata eseguita una esperienza in un vigneto di Sauvignon blanc allevato a Guyot approntando un sistema di nebulizzazione (Cooling Dew<sup>TM</sup>), sviluppato dal Gruppo Oasisclimatica<sup>TM</sup> Italia (Osio Sotto, Bergamo), montando su filari alterni coppie di nebulizzatori (distanti 3,5 m) su un filo metallico posto a 20 cm dal suolo ed orientati in direzione opposta con un angolo di 45°, in grado di dirigere l'acqua nebulizzata sui filari adiacenti (Fig. 76).

La spinta dell'acqua ad una pressione di circa 70 bar attraverso ugelli con foro di 0,15 mm atomizza le goccioline fino ad un diametro di 0,1 µm e produce in tal modo una cortina di nebbia tale da coprire l'intera chioma.

L'impianto, comandato da una centralina collegata ad un termostato per la rilevazione della temperatura, era stato programmato per attivarsi ogni qualvolta la stessa su-

**Figura 76**  
**Sistema di nebulizzazione in azione sul vigneto e particolare dei nebulizzatori orientati a 45°**



perava un valore soglia (es. 30 °C) e disattivarsi una volta che la temperatura veniva ricondotta al di sotto di questa soglia.

La temperatura, abbassata sotto i 30 °C in circa 1 minuto di erogazione, si manteneva al di sotto di tale soglia per circa 7-8 minuti prima che il calore dell'irraggiamento solare facesse risalire nuovamente la temperatura oltre i 30 °C, provocando così la ripresa della nebulizzazione.

L'installazione di un umidostato garantiva che, indipendentemente dalla temperatura, in caso di umidità relativa superiore ad una certa soglia (es. 70%) l'impianto non entrasse in funzione. Considerando i valori soglia sopra indicati, la quantità di acqua che ciascun atomizzatore utilizza può variare da 0,30 a 0,35 l/minuto. I cicli di nebulizzazione sono in grado di abbassare la temperatura nelle ore più calde della giornata con punte di differenziale termico fino a -7 °C. Normalmente segue un rallentamento nelle cinetiche sia di accumulo degli zuccheri nel mosto sia di degradazione dell'acidità titolabile e malica, con un post-

cipo di circa 7-8 giorni nell'epoca di vendemmia (Tab. 4).

Le uve della tesi nebulizzata hanno mantenuto un maggior tenore in acidità totale e malica, valori di pH più consoni alla produzione di vini freschi ed un minor contenuto in zuccheri. In vendemmia non sono state riscontrate modifiche sostanziali a carico delle rese, del numero di grappoli a pianta e del peso medio del grappolo e dell'acino, mentre l'analisi dei vini ha evidenziato che la nebulizzazione refrigerante consente di mantenere un pH minore, ed un'acidità, sia totale che malica, significativamente maggiore, mentre l'alcolicità non ha mostrato variazioni apprezzabili. I tioli volatili considerati hanno manifestato aumenti significativi nei vini prodotti dal vigneto sottoposto a nebulizzazione pari al 33% per il 3-sulfanylhexanol e al 22% per il 3-sulfanylhexylacetate, mentre il methyl-4-sulfanylpentan-2-one ha subito una riduzione significativa (Tab.12).

Questa tecnica richiede modesti volumi d'acqua e risulta efficace per limitare i danni causati dagli eccessi termici, incluse le fotoinibizioni, ed assicurare una più regolare maturazione dell'uva necessaria per produrre vini di qualità superiore attraverso la salvaguardia del pH e del tenore acidico, specialmente nella frazione malica, ed aumenti a carico di alcuni tioli volatili.

**Tabella 12**

**Effetti della nebulizzazione refrigerante sovra chioma sulle rese e sulla composizione delle uve in vendemmia e dei vini nel Sauvignon blanc**  
**<sup>1</sup> Vendemmiato il 4 settembre; <sup>2</sup> Vendemmiato il 12 settembre**

	Controllo <sup>1</sup>	Trattato <sup>2</sup>
Produzione (kg/vite)	1,68	1,82
Grappoli (n°/ceppo)	10,5	10,2
Peso medio grappolo (g)	165	177
Peso medio acino (g)	1,21	1,28
Zuccheri (°Brix)	20,1	19,7
Acidità titolabile (g/L)	7,5	7,8
Acido malico (g/L)	1,0	1,4
pH del mosto	3,3	3,2
<b>Vini</b>		
Alcol (%)	11,8	11,4
Acidità totale (g/L)	6,7	7,1
Acido malico (g/L)	0,91	1,18
pH	3,3	3,1
3-sulfanylhexanol (ng/L)	556	741
3-sulfanylhexylacetate (ng/L)	59	72
Methyl-4-sulfanylpentan-2-one (ng/L)	9	2

## **7. Complessazione della chioma**

Tutte le operazioni che durante la maturazione causano la riesposizione dei grappoli alla piena luce solare sono da evitare al fine di contenere gli inevitabili fenomeni di ipertermia.

Tali cause possono derivare da interventi eseguiti in tempi e modi non corretti, esempio eccessive scacchiature e/o sfemminellature nel tratto basale dei germogli oppure defogliazioni in prossimità dei grappoli (Fig.77).

**Figura 77**

**Filare di Trebbiano toscano eccessivamente defogliato nella zona dei grappoli. I grappoli situati sul lato della parete direttamente assolata nel pomeriggio sono maggiormente propensi a ridurre il quadro acidico ed antocianico, nonché alcuni profumi varietali a seguito di aumenti rilevanti della temperatura. In tali casi è bene non defogliare oppure eseguire blandi interventi e solo dove la fogliosità è palesemente eccessiva**



Si viene così a perdere l'effetto protettivo sui grappoli con inevitabili aumenti della temperatura. In tali condizioni si verificano perdite significative di acidità, soprattutto malica, antociani e alcuni profumi varietali.

Naturalmente, l'adozione di sistemi di allevamento capaci di mantenere i grappoli in condizioni di luce diffusa, soprattutto durante le ore più calde della giornata, può rappresentare una scelta agronomicamente vincente, oltre che semplice, soprattutto nelle aree nelle quali la vite manifesta fenomeni ricorrenti di carenza idrica

estiva accompagnati da elevate temperature, bassa umidità relativa dell'aria e conseguenti alti valori di deficit di pressione di vapore ( $> 3,5-4$  kPa).

Tra i sistemi di allevamento più o meno idonei a raggiungere questo obiettivo e che, in virtù dell'ombreggiamento dei grappoli, sono in grado anche di limitare i pericolosissimi danni da scottature degli acini, possiamo annoverare: 1) tendone; 2) pergole; 3) cordone libero; 4) alberello; 5) GDC; 6) SAYM (Palliotti 2011).

## **Tecniche non flessibili**

### **1. Potatura tardiva**

È noto da tempo che la potatura invernale applicata tardivamente, quando le gemme sono in fase di ingrossamento, induce un posticipo di alcuni giorni nel germogliamento aumentando la probabilità di sfuggire alle gelate primaverili. Recentemente è stato accertato che l'epoca di potatura può rallentare il decorso della maturazione dell'uva; su Merlot allevato in Nuova Zelanda è stato infatti riscontrato che la potatura invernale eseguita tardivamente, quando i germogli apicali dei tralci a frutto avevano una lunghezza media di 5 cm, riduce la concentrazione in zuccheri del mosto fino a  $3,6$  °Brix, rallenta la degradazione degli acidi organici e mantiene un valore ottimale di pH (Friend e Trought 2007).

Un'indagine recente eseguita in Italia su Sangiovese allevato a cordone speronato ha messo in evidenza come ritardando la potatura invernale all'inizio di maggio (BBCH55, fase fenologica di infiorescenze distese e fiori appressati) si deprime il livello produttivo e si determina un significativo rallentamento nell'accumulo degli zuccheri rispetto a

viti potate a febbraio-marzo (BBCH0, fase di dormienza) e ad aprile (BBCH1, inizio rigonfiamento gemme) (Fig. 78) (Frioni et al. 2016).

Figura 78

Filari di Sangiovese allevati a cordone speronato sottoposti a potatura invernale tardiva (aprile e maggio) e molto tardiva (giugno) a confronto con filari potati in epoca classica, ovvero nella fase di dormienza delle gemme (febbraio e primi di marzo). (Foto eseguita il 2 maggio subito dopo l'esecuzione della potatura della tesi 2 maggio (BBCH 55)

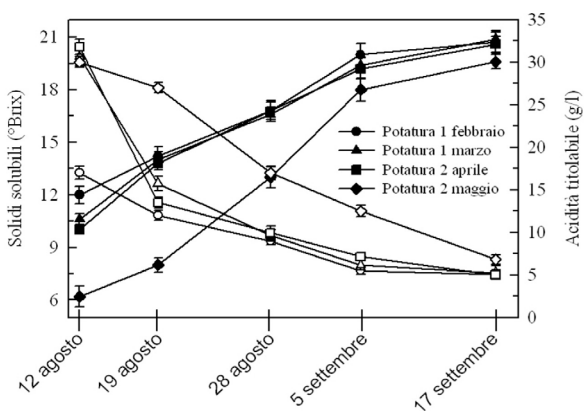


Rispetto a questi ultimi trattamenti, la potatura eseguita ai primi di maggio nella fase fenologica BBCH55 ha ridotto il numero di infiorescenze per pianta (8,9 *vs.* 13,4), l'allegagione (93 *vs.* 113 acini/grappolo), il peso dell'acino (2,20 *vs.* 2,72 g) e del grappolo (203 *vs.* 316 g). Dall'analisi delle cinetiche di maturazione emerge nella tesi potata i primi di maggio un chiaro rallentamento della maturazione tecnologica (Fig. 79) e in vendemmia gli zuccheri nel mosto sono diminuiti di ben 1,1 °Brix, l'acidità è risultata più elevata di circa 1,8 g/l ed il pH ha mostrato un valore

più basso rispetto alle altre epoche di potatura (3,14 vs. 3,27).

Figura 79

**Evoluzione stagionale dell'accumulo degli zuccheri e della degradazione dell'acidità titolabile nel mosto in ceppi di Sangiovese potati in differenti fasi fenologiche**



La potatura eseguita i primi di giugno (BBCH64, ovvero in piena fioritura) ha invece causato la totale filatura delle infiorescenze; nessun grappolo è stato infatti prodotto dai germogli sviluppatasi dalle 2 gemme basali lasciate sugli speroni né da quelli prodotti da gemme di corona, sottogemme e gemme latenti. Questi risultati evidenziano come a seguito di una forte limitazione della funzionalità della chioma indotta con potature molto tardive, i primordi delle infiorescenze, già indotti durante l'estate dell'anno precedente, possono parzialmente o totalmente perdere la loro capacità di differenziarsi in fiori funzionali. Pertanto, considerando il rallentamento della maturazione tecnologica ottenuto, questa tecnica potrebbe essere utiliz-



zata, opportunamente calibrata, nelle situazioni ove oltre al rallentamento della maturazione tecnologica dell'uva si richiede anche il contenimento della produttività.

## **2. Rifinitura in post germogliamento di viti pre-potate meccanicamente in inverno**

Per facilitare l'accettazione da parte dei viticoltori della tecnica della potatura tardiva, descritta nel paragrafo precedente, superando le remore di tipo psicologico nei confronti di tale intervento che va eseguito in post germogliamento, recentemente è stata valutata la possibilità di rinviare a germogliamento già avvenuto la sola rifinitura manuale in piante pre-potate meccanicamente nel periodo canonico, ovvero in inverno (Fig. 80) (Pallioti et al. 2017).

Tale operazione eseguita su viti di Sangiovese allevate a cordone speronato e pre-potate meccanicamente in inverno, lasciando sulle viti tralci con 6-8 gemme, ha causato un significativo calo della produzione (Tab. 5). In particolare, in raffronto alla rifinitura invernale, quella eseguita nella fase fenologica BBCH15, ovvero quando i germogli apicali dei tralci pre-potati avevano una lunghezza di ~8-10 cm con 3-4 foglie distese, ha ridotto la produzione del 22% (ovvero -0,62 kg/ceppo), mentre quella a BBCH55 (ovvero la tesi rifinita manualmente quando i germogli apicali dei tralci pre-potati avevano una lunghezza di ~18-20 cm) ha indotto un calo di resa molto forte e pari al 43% (-1,2 kg/ceppo).

Nella tesi BBCH15, la diminuzione della resa è stata causata da una riduzione del numero di grappoli per ceppo, precisamente 9,7 contro 12,2 del controllo BBCH0. Nella tesi BBCH55, oltre ad una drastica riduzione del numero dei grappoli (4,7 grappoli per vite in meno rispetto alla tesi BBCH0), si è avuto anche un calo del peso medio

**Figura 80**

**Pre-potatrice meccanica al lavoro su un vigneto di Sangiovese allevato a cordone speronato (A), vigneto dopo la pre-potatura (B), rifinitura manuale in fase di post-germogliamento (C), grappoli con differente stadio di maturazione il 3 agosto (D) ed il 21 agosto (E)**



del grappolo (-14%) dovuto in massima parte ad un minor numero di acini per grappolo (-15%) (Tab.13).

**Tabella 13**

**Componenti della produzione rilevate in vendemmia su ceppi di Sangiovese pre-potati meccanicamente e sottoposti a rifinitura manuale in inverno (BBCH0) e a germogliamento avvenuto in differenti epoche (BBCH15 e BBCH55). Medie del triennio 2014-2016**

**I valori accompagnati da lettere diverse sono significativamente differenti per  $P \leq 0,05$**

	Produzione/ ceppo (kg)	Grappoli/ ceppo (n)	Peso grappoli (g)	Peso acini (g)	Acini/ grappolo (n)
BBCH0	2,80 a	12,2 a	228 a	2,08	110 a
BBCH15	2,18 b	9,7 b	222 a	1,97	115 a
BBCH55	1,60 c	7,5 c	197 b	2,09	93 b

In vendemmia, le uve della tesi BBCH15 hanno mostrato riduzioni significative a carico degli zuccheri ed aumenti nell'acidità titolabile e nei polifenoli totali, mentre pH ed antociani non hanno subito variazioni apprezzabili (Tab. 14).

L'analisi delle cinetiche di maturazione ha evidenziato un rallentamento della maturazione tecnologica in entrambe le tesi rifinite tardivamente (Fig. 16). Una analisi più approfondita ha evidenziato che la rifinitura manuale dei tralci pre-potati meccanicamente nella fase BBCH15 genera due differenti tipologie di germogli, ovvero: 1) germogli con uno sviluppo vegetativo e fasi fenologiche regolari, che rappresentavano circa il 70-75% dei germogli totali; 2) germogli caratterizzati da una crescita vegetativa e fasi fenologiche ritardate, ovvero il restante 25-30% dei germogli (Fig. 80 D, E).

L'analisi separata del decorso della maturazione dei grappoli portati da questi germogli eseguita nel 2015 e

**Tabella 14**

**Caratteristiche qualitative dell’uva rilevate alla vendemmia su ceppi di Sangiovese pre-potati meccanicamente e sottoposti a rifinitura manuale in inverno (BBCH0) e a germogliamento avvenuto in differenti epoche (BBCH15 e BBCH55). Medie triennio 2014-2016**  
**I valori accompagnati da lettere diverse sono significativamente differenti per  $P \leq 0,05$**

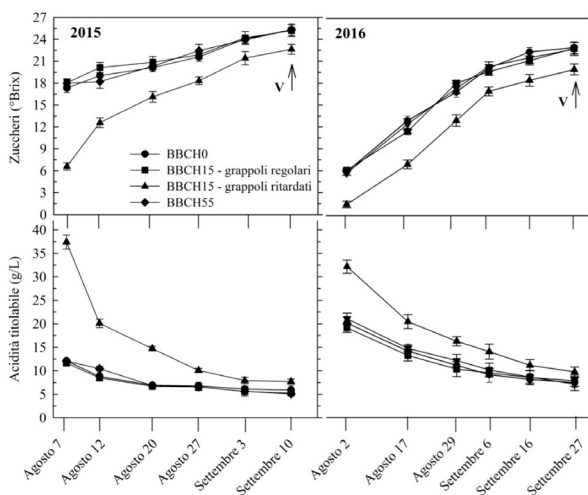
	Zuccheri (°Brix)	Acidità titolabile (g/L)	pH del mosto	Antociani totali (mg/kg)	Polifenoli totali (mg/kg)	Superficie fogliare (m <sup>2</sup> /ceppo)	Superficie fogliare/produzione (m <sup>2</sup> /kg)
BBCH0	22,1 a	6,66 b	3,40 a	362	2668 b	3,06	1,14 b
BBCH15	21,1 b	7,67 a	3,20 b	402	3158 a	2,86	1,31 b
BBCH55	22,5 a	7,06 ab	3,31 ab	405	3214 a	2,88	1,78 a

2016 consente di affermare che la popolazione di grappoli ritardati, in virtù del loro sviluppo posticipato, è in grado di mantenere livelli di acidità titolabile più elevati e bassi contenuti di zuccheri (Fig. 81). Tuttavia, la forbice dei valori di entrambi questi parametri, molto elevata subito dopo l’invaiaatura, tende a diminuire nel corso della maturazione dell’uva (Fig. 80 D, E). La superficie fogliare per ceppo non ha mostrato variazioni sostanziali in funzione dell’epoca di rifinitura, mentre il rapporto “superficie fogliare/produzione”, variabile da 1,14 a 1,31 m<sup>2</sup>/kg nelle tesi BBCH0 e BBCH15, è risultato particolarmente alto nelle piante rifinite nella fase BBCH55 ovvero 1,78 m<sup>2</sup>/kg, per effetto dell’elevata limitazione produttiva riscontrata in questa tesi.

Figura 81

Evoluzione degli zuccheri e dell'acidità titolabile nel mosto nel 2015 e 2016 in ceppi di Sangiovese pre-potati meccanicamente e sottoposti a rifinitura manuale in pieno inverno (BBCH0) e a germogliamento avvenuto in differenti epoche (BBCH15 e BBCH55)

Nella tesi BBCH15 sono stati analizzati separatamente i grappoli portati da germogli con crescita regolare (grappoli regolari) e quelli sviluppati da germogli con un evidente ritardo di sviluppo (grappoli ritardati) (Fig. 80 D, E)



I vini ottenuti dalla tesi rifinita nella fase BBCH15 hanno presentato, rispetto ai controlli, una minore alcolicità (-0,7%) ed un maggior contenuto in polifenoli totali (+17%), mentre non sono emerse modifiche significative a carico degli altri parametri qualitativi analizzati (Tab. 15).

**Tabella 15**

**Composizione dei vini prodotti con le uve delle viti di Sangiovese pre-potate meccanicamente e sottoposte a rifinitura manuale in inverno (BBCH0) e a germogliamento avvenuto (BBCH15)  
I valori accompagnati da lettere diverse sono significativamente differenti per  $P \leq 0,05$**

	Alcol (%)	Acidità totale (g/L)	pH	Estratto secco totale (g/L)	Antociani (g/L)	Polifenoli totali (g/L)	Intensità colorante	Tonalità
BBCH0	14,6 a	6,5	3,39	23,5	0,278	1,49 b	8,6	0,54
BBCH15	13,9 b	6,7	3,44	22,7	0,258	1,75 a	8,2	0,60

Pertanto, il germogliamento posticipato di alcune settimane delle gemme basali portate dagli speroni lasciati dopo la rifinitura manuale tardiva si traduce in un contenimento della resa produttiva. Le cause sono da ricercare in un insieme di fenomeni tra loro interagenti. I germogli sviluppatisi sulla parte distale dei tralci pre-potati sono centri di produzione di composti ormonali che inibiscono lo sviluppo delle gemme basali e, contemporaneamente, costituiscono centri di consumo delle sostanze di riserva.

In queste condizioni i primordi dell'infiorescenza portate dalle gemme basali perdono, almeno in parte, la capacità di formare i primordi fiorali da sviluppare in fiori completi e funzionali. L'intervento tardivo di rifinitura asporta la superficie fogliare formatasi a spese delle riserve e lascia speroni con gemme basali rimaste in massima parte quiescenti fino a quel momento. La schiusura di queste gemme e lo sviluppo tardivo dei loro meristemi apicali avviene, quindi, quando le riserve nutrizionali sono in parte depauperate, non sono più presenti foglie fotosinteticamente attive e le temperature dell'aria sono più elevate, condizioni queste potenzialmente non favorevoli alla formazione e

allo sviluppo dei fiori.

Nelle viti rifinite dopo il germogliamento, in particolare nella tesi BBCH55, la diminuzione del numero di grappoli per ceppo e di fiori allegati dipende inoltre dalla forte competizione, nuovamente di natura nutrizionale e ormonale, che si instaura tra la componente vegetativa (l'apice dei nuovi germogli emessi in attiva crescita), e quella produttiva rappresentata da sviluppo dei fiori, allegazione ed accrescimento degli acini appena allegati. Tutti questi processi anabolici richiedono energia, ovvero carboidrati utilizzabili nei processi di respirazione cellulare, che devono essere forniti dalla fotosintesi corrente.

Nella fase di fioritura/allegazione il bilancio "superficie fogliare/produzione" artificialmente penalizzato da questa tecnica è alla base della limitazione produttiva, la cui entità dipende essenzialmente da: 1) numero di gemme lasciate sui tralci con la pre-potatura meccanica; 2) epoca di rifinitura, che non dovrebbe superare la fase fenologica di 2-3 foglie distese (BBCH15); 3) fertilità del sito di coltivazione e vigoria delle piante (in vigneti molto vigorosi gli effetti possono risultare attenuati). I dati ci consentono pertanto di affermare che questa tecnica, semplice ed economica poiché non comporta di fatto costi aggiuntivi, oltre alla possibilità di sfuggire alle gelate tardive può essere proficuamente utilizzabile nelle situazioni ove si richiede di: 1) contenere la produttività unitaria delle piante, come può accadere con vitigni caratterizzati da elevata fertilità gemmaria e grappoli grossi (es. Sangiovese, Montepulciano, Ciliegiole, Teroldego, Trebbiani, Malvasie, ecc.); 2) rallentare la maturazione tecnologica delle uve e mantenere una più elevata acidità nel mosto; 3) potenziare la maturità fenolica delle uve; 4) prolungare il periodo utile di vendemmia in specifici appezzamenti, come può accadere

quando si hanno elevate superfici del medesimo vitigno o di vitigni a maturazione contemporanea e si vogliono evitare svinature anticipate con perdita di colore, tannini e profumi varietali.

## **Conclusioni**

La tendenza del cambio climatico del pianeta è ormai certezza consolidata e l'impatto sull'attività agricola è sempre più evidente, soprattutto riguardo l'aumento della frequenza ed intensità degli eventi estremi. Una strategia di medio-lungo periodo dovrà prevedere un aggiornamento della piattaforma ampelografia, soprattutto per ciò che riguarda la disponibilità di vitigni, cloni e nuovi portinnesti resistenti a stress abiotici, carenza idrica ed eccessi termici e radiativi in particolare.

Allo stesso tempo, occorrerà aumentare le conoscenze, soprattutto per i vitigni di territorio, relative ai meccanismi con cui si adattano a condizioni in aumento di radiazione solare, temperatura e deficit di pressione di vapore e in calo riguardo la disponibilità idrica. La sfida che ci attende nel prossimo futuro, sotto pressione anche dalle nuove esigenze dei mercati, è quella di ottenere prodotti con un moderato grado alcolico senza però, nei vini rossi, modificare l'intensità di colore, la struttura e le proprietà sensoriali e, nei vini bianchi, il quadro acidico ed aromatico. Un aiuto strutturale in tal senso potrebbe derivare da un riesame circa la scelta del sistema di allevamento in fase di progettazione del vigneto che tenga maggiormente conto degli scenari, soprattutto climatici, che ormai si sono delineati.

Certamente, nel breve periodo, la possibilità di calmierare gli effetti indotti dal cambio di clima, da una parte, e dalle nuove esigenze del mercato, dall'altra, sono legate



ad aggiustamenti della tecnica colturale da applicare senza rivoluzionare protocolli colturali consolidati e spesso premiati da successi di mercato, ma senza opporre barriere a quelle che sono spesso applicazioni calibrate, anche se certamente non convenzionali, delle medesime tecniche.

Infine, alcune tecniche di recente impiego quali l'uso di antitraspiranti e del caolino e/o le defogliazioni tardive, applicate cioè quando il processo di crescita degli acini è completo potrebbero dare un reale aiuto nel superare periodi particolarmente critici preservando l'integrità di foglie e acini e/o nel contenere l'accumulo degli zuccheri nell'uva in modo efficace oltre che semplice ed economico.

## Il ruolo dei portainnesti nella maturazione

di *Roberto Miravalle*, Agronomo

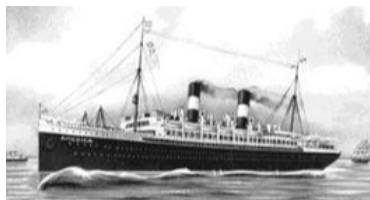
A metà dell'Ottocento l'avvento della navigazione a vapore aveva ridotto le distanze tra i continenti. La maggior capacità di carico dei piroscafi ed i tempi molto ridotti, rispetto ai velieri, incrementarono gli scambi commerciali in particolare tra le due sponde dell'Atlantico. Non più solamente beni preziosi, spezie e passeggeri, ma anche beni di consumo, legname, piante, fiori. I tempi di traversata ridotta annullarono l'inconsapevole "quarantena" del trasporto merci a vela. Piante ed i loro ospiti indesiderati arrivarono nei giardini e negli orti europei vitali e invasivi. Le viti americane, introdotte con diverse motivazioni diventarono vettori di malattie che in pochi decenni stravolsero una coltivazione millenaria (Fig.82).

**Figura 82**

**Un veliero impiegava da trenta a quaranta giorni per attraversare l'Atlantico. Nel 1845 il Great Britain, in ferro e con propulsore ad elica, impiegò 14 giorni**

### **COMPARSA DELLE MALATTIE AMERICANE IN EUROPA**

- 1845: Oidio
- 1868: Fillossera
- 1878: Peronospora



- La fillossera fece la sua prima apparizione nelle serre del Galles del Sud, dove era iniziata la coltivazione di Isabella (ibrido naturale “americano” tra *Vitis labrusca* e *Vitis vinifera*), per via della sua resistenza all’oidio. Nel 1863 la fillossera venne trovata nei dintorni di Parigi, nel 1868 Planchon la identificò classificandola col nome di *Phylloxera vastatrix*. (Recentemente si è tornati alla prima classificazione americana *Daktulosphaira vitifoliae*, FITCH, 1855).
- Nel 1869 la fillossera venne identificata a Varese. La diffusione fu rapidissima in tutta Europa.

Furono gli anni della grande tragedia della viticoltura europea. Fillossera, oidio e peronospora portarono la produzione vitivinicola vicino al tracollo. Nei primi anni del ‘900 la produzione italiana di vino crollò a 20 milioni di ettolitri. Gli Stati reagirono dando impulso alla ricerca in materia. L’Austria creò gli Istituti di Klosterneuburg e di San Michele AA (1873). In Italia fiorirono gli Istituti Tecnici dedicati: Marsala (1873) Conegliano (1876), Avellino (1879) Alba (1881), Catania (1881). Fu la Francia, il Paese più minacciato, quello che mise più risorse per sconfiggere il piccolo afide pernicioso.

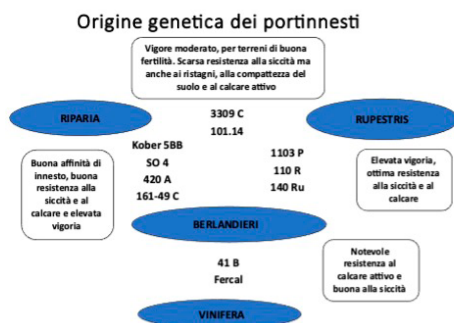
La ricerca si mosse su due scuole di pensiero: l’*“Idealrebe”* la nuova vite ideale, resistente a fillossera e alle malattie fungine americane, da ottenersi tramite ibridazioni e reincroci. Un’altra strada perseguiva la strenua difesa delle varietà di *Vitis vinifera*. La questione fillossera si poteva risolvere innestando le varietà europee su viti americane resistenti. Entrambe le scuole ebbero successo. Gli ibridi resistenti, detti anche “produttori diretti” ebbero un’affermazione enorme in Francia arrivando a circa 400.000 ettari coltivati; in Italia, specialmente al Nord, rappresentavano più del 25% della superficie vitata.

Anche sulla direttrice portainnesti fu necessario un enorme investimento in ricerca. Inizialmente si importarono le specie americane, la *Vitis riparia*, originaria delle grandi pianure (*Riverbanks grape*) e la *Vitis rupestris* (*Mountain grape*). Le prime selezioni mostrarono i loro limiti ambientali. La *V. Riparia* si adattava male agli ambienti siccitosi. L'introduzione della *V. Rupestris* offrì una soluzione per questi ultimi, ma permanevano problemi legati ai suoli calcarei, e la compatibilità tra i bionti e la resa d'innesto.

La via dell'ibridazione tra *V. riparia* e *V. rupestris* fu immediatamente perseguita. Poi arrivò il grande contributo di una vite texana, la *Vitis berlandieri*, particolarmente atta ai terreni calcarei. Ricerche frenetiche, passione ed intuizione di grandi studiosi, vivaisti e viticoltori che, selezionando, ibridando o incrociando viti americane resistenti o meglio, altamente tolleranti alla fillossera, riuscirono ad offrire rapidamente soluzioni per le diverse aree viticole del continente europeo (Fig.83).

Figura 83

Le *Vitis* americane ed i loro incroci hanno costituito la base dei portainnesti impiegati per la tolleranza alla fillossera



Ed i nomi di costoro vivono ancora oggi perché legati agli ibridi portainnesto da essi selezionati: Couderc, Millardet, De Grasset, Richter, Teleki, Kober, Ruggeri, Paulsen per citare i più noti. Già alla fine del secolo i viticoltori avevano a disposizione portainnesti adatti a diverse situazioni pedoclimatiche. I costitutori li “battezzarono” con sigle, che rimandano a loro stessi. Così il 3309 C, (1881), come il 161-49 C (1888), il 157-11C (1889), ove “C” sta per Couderc.

Qualche volta appare il nome per intero, per esempio il 1103 Paulsen (1895) il 225 Ruggeri (1897), il Teleki 8B (1902), il 110 Richter (1889), il Kober 5BB selezionato da Kober e Teleki nel 1896. In altri casi il successo fa sì che prevalga la sigla, per esempio il 41B (1882) o il 420 A (1887) di Millardet e de Grasset, o l’acronimo, come nel caso dell’ibrido Berlandieri x Riparia “Selezione Oppenheim n. 4”, conosciuto come SO4.

Aneddoti e ragioni di nomenclatura a parte, la ricerca pubblica e privata nell’arco di vent’anni offrì alla viticoltura una vasta gamma di portainnesti, circa cinquanta, tutt’ora utilizzati. A partire da fine Ottocento e primo trentennio del Novecento la ricostituzione post fillosserica dei vigneti seguì le due principali direttrici: l’impianto di ibridi produttori diretti o la conservazione delle varietà europee tramite l’innesto. La scoperta delle proprietà fungicide di zolfo e rame consentì la difesa dalle nuove gravi malattie, oidio e peronospora.

Ma gli ibridi produttori diretti inciamparono in serie difficoltà: risultati enologici molto modesti, il timore della perdita dell’identità delle varietà e dei vini europei, le preoccupazioni legate ad una maggior produzione di metanolo durante la fermentazione alcolica. Aspetti critici che portarono alla loro proibizione.

Ne fu vietata la coltivazione nel 1936 in Italia e nel 1953 in Francia. Curiosamente rimane ancor oggi una sorta di rimpianto verso il “Clinton” o il “Fragolino” vinelli diventati bevanda popolare nel Nord Italia e nel Sud della Francia. Mentre la ricerca sul miglioramento genetico degli ibridi produttori diretti proseguì, con risultati poco entusiasmanti, fino alla loro proibizione, l’innovazione genetica sui portainnesti rallentò fino quasi a fermarsi.

L’attività di ricerca si focalizzò all’ottimizzazione nell’impiego degli stessi, sia sull’aspetto della compatibilità varietale, sia, soprattutto, sull’adattabilità alle diverse condizioni pedoclimatiche. Nacquero così dettagliati schemi di prescrizione, con attenzione particolare al controllo della clorosi ferrica, del vigore, della siccità. Dalla selezione dell’SO4 (1919) ad oggi, pochi altri ibridi portainnesti sono apparsi e quasi tutti con scopi molto specifici. Se si escludono i lavori di Cosmo, volti al miglioramento del Teleki 8B, del 1931, bisogna attendere tempi recenti per vedere qualche innovazione, tuttavia con scopi normalmente limitati geograficamente.

Nel 1959 in Francia nasce il Fercal, impiegato in terreni molto clorosanti, seguito da Gravesac (1962) per i suoli acidi. In Germania vengono selezionati Borner (1943) ibrido tra V. riparia e V. cinerea. Il loro impiego è praticamente limitato ai luoghi d’origine. In California accanto al “vecchio” Salt Creek (1909) compaiono Harmony (1966) e Freedom (1967) con limitata resistenza a fillossera, ma alta resistenza ai nematodi. Entrambi trovano in certo impiego localmente. Anche in Italia l’attività sulla ricerca di nuovi portainnesti prosegue lentamente. Nel 2014 l’Università di Bologna registra Star 50 e Star 74. Sempre nel 2014 l’Università di Milano iscrive a registro quattro nuovi portainnesti:

la “serie M”. M1, M2, M3, M4. I portainnesti M si pongono l’obiettivo di rispondere a nuovi e critici bisogni della viticoltura odierna e aprono nuove vie di conoscenza sul ruolo dei portainnesti sulla composizione delle uve e sul loro processo di maturazione.

Recentissimamente (17/06/2020) è stato iscritto il Georgikon 28, ottenuto in Ungheria per incrocio tra TK 5BB x V. vinifera. Interessante poiché presenta buona tolleranza alle condizioni di suolo poco profondo, tolleranza alla siccità simile al 110 Richter e al 1103 Paulsen, tolleranza al calcare è molto alta (sopra al 30% del calcare attivo).

Non si hanno tuttavia informazioni sulla piena adattabilità ecologica alle condizioni della viticoltura italiana.

Intanto si affinano le mappe di prescrizione. Decenni di osservazioni e specifici studi consentono di stilare mappe agronomiche specifiche per i diversi portainnesti disponibili, offrendo a tecnici e viticoltori soluzione adeguate per i diversi microcosmi pedoclimatici. Grande attenzione è stata posta sulla tolleranza al calcare attivo, sul vigore, sull’adattabilità ai terreni e resistenza a fisiopatie (Fig.84).

**Figura 84**  
**Mappa di prescrizione dei principali portainnesti**

PORTAINNESTI	ORIGINE GENETICA	RESISTENZA CALC. ATT.	VIGORIA	ADATTABILITÀ AI TERRENI					SISTEMA RADICALE	RESISTENZA CARENZA K	RESISTENZA CARENZA MG
				SICCIOSI	UMIDITÀ	COMPATTAZZA	ACIDITÀ	SALINI			
125 AA	Berlandieri x Riparia	20%	elevata	scarsa	medio bassa	media	nd	scarsa	semi superficiale	media	scarsa
Kober 5BB	Berlandieri x Riparia	20%	elevata	media	media	media	media	scarsa	semi profondo	media	media
SO4	Berlandieri x Riparia	17%	medio alta	scarsa	media	media	media	scarsa	semi superficiale	medio bassa	scarsa
Tekeki 5 C	Berlandieri x Riparia	15%	medio alta	media	media	media	nd	scarsa	semi superficiale	media	media
157.11 Couderc	Berlandieri x Riparia	22%	media	media	media	media	nd	media	semi profondo	media	nd
420 A (Mill. De Gr.)	Berlandieri x Riparia	20%	medio basso	media	scarsa	medio bassa	medio bassa	scarsa	semi profondo	media	medio bassa
34 E.M	Berlandieri x Riparia	20%	medio elevata	scarsa	scarsa	scarsa	medio bassa	media	semi superficiale	media	medio bassa
1103 Paulsen	Berlandieri x Rupestris	17%	elevata	elevata	scarsa	elevata	nd	elevata	profondo	scarsa	elevata
140 Raggeri	Berlandieri x Rupestris	40%	molto elevata	elevata	scarsa	media	buona	media	profondo	scarsa	media
775 Paulsen	Berlandieri x Rupestris	17%	media	medio elevata	scarsa	media	nd	scarsa	profondo	media	media
110 Richter	Berlandieri x Rupestris	17%	medio elevata	elevata	media	elevata	buona	media	profondo	elevata	media
779 Paulsen	Berlandieri x Rupestris	20%	medio elevato	elevata	media	elevata	nd	media	profondo	media	elevata
41 B (Mill. De Gr.)	Chas. x Ber.	40%	media	medio elevata	scarsa	medio bassa	nd	nd	profondo	media	scarsa
Galia	Eur. x Rupestris	20%	elevata	scarsa	media	elevata	nd	nd	semi superficiale	media	nd
161.49 Couderc	Riparia X Berlandieri	25%	media	media	scarsa	media	buona	media	semi profondo	media	nd
101-14 (Mill. De Gr.)	Riparia x Rupestris	9%	bassa	scarsa	medio elevata	medio bassa	buona	nd	superficiale	scarsa	media
3309 Couderc	Riparia x Rupestris	11%	medio bassa	molto scarsa	medio bassa	medio bassa	buona	nd	superficiale	scarsa	media

Indicazioni molteplici che spesso si infrangono sulla necessità di semplificazione, sulle necessità dell'industria vivaistica, sui luoghi comuni nati sovente da convinzioni errate. Dei 46 portainnesti iscritti al Registro Nazionale, 39 sono a disposizione del mondo vivaistico locale, solo 6 sono largamente diffusi. Oggi i portainnesti SO4, Kober 5BB, 110R, 1103P e 140R rappresentano il 96% dei materiali base.

Tuttavia, questa semplificazione deve essere rivista e integrata alla luce di nuove conoscenze e nuove acquisizioni genetiche sui portainnesti. Ad iniziare da concetti base, quali l'angolo geotopico degli apparati radicali che caratterizza le diverse specie di *Vitis*. Quindi diventa fondamentale il contributo della pedologia sia per la scelta del portainnesto migliore sia per indicare pratiche agronomiche



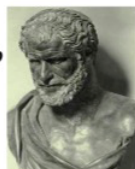
idonee a rimuovere o mitigare gli aspetti critici del terreno da impiantare (Fig.85).

Figura 85

Inizia una nuova percezione del ruolo del portainnesto

## LE RADICI

*«gli alberi possono essere paragonati ad uomini capovolti, con la testa infissa nel suolo e i piedi in aria», le radici sono il centro di comando.*



Democrito



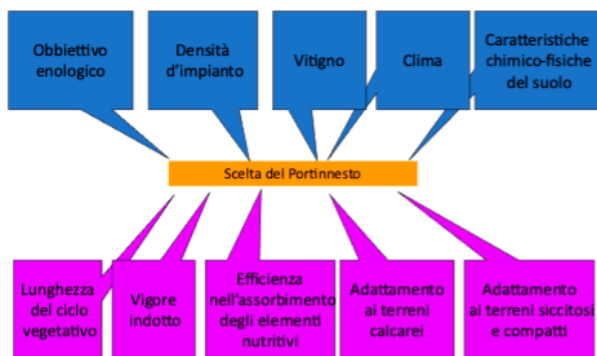
Ricerca che invece è stata ampiamente attuata sui portainnesti M. Questi inizialmente sono stati caratterizzati secondo il metodo classico: compatibilità varietale, resa all'innesto, compatibilità coi terreni calcarei, siccitosi o umidi e compatti, tolleranza al salino. Ma si comprende subito che senza una vera giustificazione, provata e affermata in diversi ambienti, le nuove proposte non possono essere adottate al di là di un limitato interesse locale.

Nasce quindi un filone di ricerca specifico: come può il portainnesto influenzare o addirittura controllare la qualità dell'uva? La necessità di ridurre i tempi di caratterizzazione e nuovi metodi d'indagine aprono la strada ad un grosso ripensamento sul ruolo dell'apparato radicale e delle sue interazioni sul bionte aereo.

Si è accennato ad aspetti quali la compatibilità d'innesto

con le diverse varietà. È stato molto investigato in passato il ruolo del portainnesto sull'assorbimento ed il trasporto di acqua e nutrienti, con particolare riguardo alla siccità, alla clorosi ferrica, all'assorbimento di potassio e magnesio. Il contributo delle scienze pedologiche alla viticoltura ha permesso una miglior conoscenza del rapporto tra suolo, origine geologica dello stesso e pianta coltivata (Fig.86).

**Figura 86**  
**La scelta del portainnesto condiziona il futuro dell'impianto**




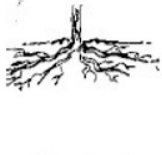

La semplificazione delle tavole sinottiche dei portainnesti deve essere rivista e integrata alla luce di nuove conoscenze e nuove acquisizioni genetiche. Ad iniziare da concetti base, quali l'angolo geotropico degli apparati radicali che caratterizza le diverse specie di *Vitis*. L'apparato radicale di una *Vitis rupestris*, quasi fittonante, limita il suo sviluppo ed esplora solo gli strati superficiali, invece di approfondirsi quando viene impiantato in terreni asfittici o se incontra strati salini.

Quindi diventa fondamentale il contributo della pedologia sia per la scelta del portainnesto migliore sia per indi-

care pratiche agronomiche idonee a rimuovere o mitigare gli aspetti critici del terreno da impiantare (Fig.87).

Figura 87

L'origine delle specie e le loro combinazioni genetiche inducono specifici comportamenti dell'apparato radicale

<i>Vitis berlandieri</i>	<i>V. riparia</i>	<i>V. rupestris</i>
		
45° geotropic angle	60° geotropic angle	20° geotropic angle
From the limestone hills of southwestern Texas, well adapted to limestone soils and drought, also grows in "acid" sandy soils. Excellent phytoalexin resistance, very hard to root and propagate.*	Origin from central Canada to Texas and east to the Atlantic. Associated with river or streamside habitats. No apparent drought resistance, excellent phytoalexin resistance, rootability, and graftability.*	From Oklahoma, Arkansas, Tennessee, Missouri. Found near rocky soil sandy streams, not found in very dry sites. Excellent phytoalexin resistance, good rootability and graftability.*

**Portinnesto**

**Angolo geotropico (°)**

<i>Rupestris du Lot</i>	20
<i>Vitis berlandieri</i>	25 - 30
<i>V. berlandieri x V.rupestris</i>	40 - 50
<i>V. riparia x V.rupestris</i>	60 - 75
<i>V. riparia x V.berlandieri</i>	60 - 75
<i>Vitis Riparia Gloire de Montpellier</i>	75 - 80

La conoscenza dei suoli, e la conseguente scelta corretta del portainnesto, permette di superare problemi quali clorosi ferrica, carenza di potassio e fisiopatie correlate alla nutrizione idrica e minerale, al vigore, all'equilibrio vegeto-produttivo del vigneto.

Il benessere e la funzionalità degli apparati radicali è prerequisito indispensabile per assicurare un efficiente scambio tra suolo/ vite. È attraverso l'apparato radicale che si trasmettono alla pianta le unicità del *terroir*. L'impronta del "*terroir*" è universalmente riconosciuta come il

carattere distintivo che clima, suolo, cultura, imprimono al vino. Che, prima della trasformazione, è uva da vino, prodotta in modo specifico dalla componente biotica, ossia vitigno, clone, portainnesto. Soggetti fortemente dipendenti ed influenzati dagli elementi naturali: suolo e clima e dagli interventi del viticoltore.

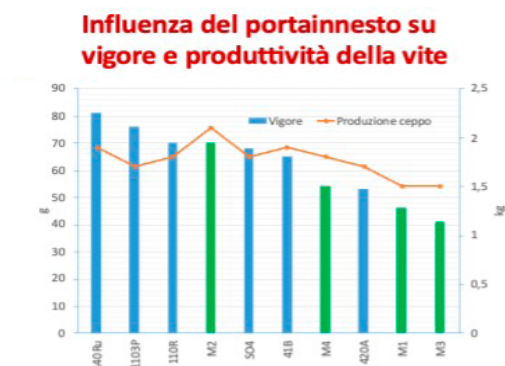
Il suolo, in questo contesto influenza i caratteri dell'uva tramite l'origine geologica, la gestione agraria, la stratigrafia, la profondità, la tessitura, la dotazione di elementi minerali, la microbiologia, ecc. attraverso la mediazione dell'apparato radicale. Nel 2019 Brancadoro e Failla, del Dipartimento Scienze Agrarie e Ambientali dell'Università di Milano, pubblicano su "Vinifera-Ripartiamo dalle radici", uno studio comprensivo sul ruolo dei portainnesti sulla fisiologia della vite. Che diventa una pietra miliare per un nuovo approccio sia per la ricerca sia per la prescrizione dei portainnesti. L'attenzione della ricerca si sposta verso la comprensione dei segnali tra marza e portainnesto, del flusso dei metaboliti e dei regolatori di crescita, i segnali ed il passaggio dell'mRNA e la conseguente sintesi di proteine e peptidi.

La scelta del portainnesto diventa quindi un momento fondamentale per programmare il futuro risultato enologico dell'impianto. È ampiamente riconosciuto come le caratteristiche del portainnesto controllino le prestazioni del vitigno tramite il controllo del vigore, quindi della crescita vegetativa, della fertilità e della produzione di uva (Fig.88), dell'influenza sulle fasi fenologiche (ad. esempio: alto vigore porta ad un allungamento delle fasi vegetative, quindi ad un ritardo della maturazione). Il portainnesto, quindi, controlla lo sviluppo e la composizione della bacca durante tutto il suo ciclo di sviluppo, con effetto maggiore nelle prime fasi, inclusa la differenziazione a fiore delle gemme.

Lo sviluppo vegetativo, il vigore (misurato come biomassa della pianta) dipende in gran parte dalla nutrizione azotata. La diversa capacità genetica degli apparati radicali di assorbire l'azoto disponibile influenza direttamente il vigore.

Figura 88

L'aspetto macroscopico del portainnesto è l'influenza sul vigore

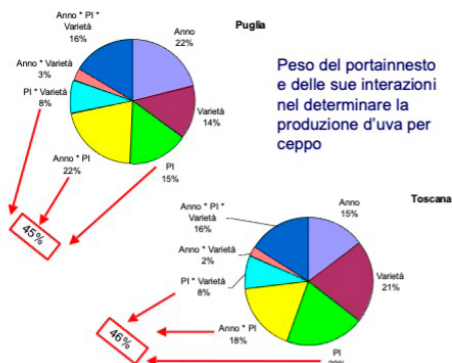


La netta influenza sul vigore e quindi sul numero e dimensione delle foglie, sul LAI (*Leaf Area Index*), regola l'evapotraspirazione e la resa fotosintetica. Ne risulta che l'influenza del portainnesto e delle sue interazioni con varietà e clima (annata) ha un peso molto alto nella determinazione della quantità e qualità di uva per ceppo.

C'è infatti una relazione stretta tra vigore e contenuto dei parametri di alta rilevanza enologica, quali zuccheri ed antociani (Fig.89).

L'attenzione al vigore correlata alla capacità di una nutrizione idrica ottimale anche in condizioni di bassa piovosità o di terreni molto drenanti è sempre stata oggetto di attenzioni. Già Paulsen e Ruggeri avevano finalizzato la loro ricerca impiegando viti americane atte a vivere in

**Figura 89**  
Anche in ambienti diversi l'influenza del portainnesto sulla produttività è molto alta



zone aride i comunque difficili, come la V. Rupestris e la V. Berlandieri. Specie atte ad assorbire l'acqua grazie al profilo degli apparati radicali e alla capacità di assorbire acqua anche con basso potenziale idrico del suolo.

Queste osservazioni oggi sono state confermate e spiegate grazie a lavori recentissimi delle Università di Milano e di Piacenza che hanno evidenziato una diversa risposta metabolica dei portainnesti nell'adottare meccanismi di resistenza alla carenza idrica. Il contributo della trascrittomico mostra come la tipologia di RNAm e la loro codifica indotta sia influenzata dalla presenza dell'innesto. Per esempio, il portainnesto M4 e l'M2 reagiscono alla riduzione della disponibilità idrica con una forte induzione alla trascrizione di stilbeni, composti che fanno parte dei meccanismi di resistenza della vite agli stress.

I portainnesti regolano anche l'evapotraspirazione della pianta. Dimostrato per la prima volta da F. Iacono nel 1998

e confermato recentemente da Rossdeutsch nel 2016 grazie alla capacità di produrre diverse quantità di acido abscissico in condizioni di stress. Ormone capace, tra l'altro, di aumentare la resistenza stomatica riducendo o bloccando la traspirazione.

Inoltre, i diversi portainnesti codificano in misura diversa per le diverse funzioni vitali e per la produzione di sostanze utili per la pianta. Sostanze che hanno anche ruoli rilevanti nella trasformazione delle bacche in vino. Ad esempio, la produzione di zuccheri, i brassinosteroidi, carotenoidi, terpenoidi, flavonoidi è condizionata dall'innesto e i diversi genotipi portainnesto a loro volta sono diversamente influenzati dalla presenza dell'innesto con *V. vinifera* (De Lorenzis et al, 2016).

Studi paralleli hanno inoltre dimostrato il ruolo preponderante del portainnesto nei confronti degli stress idrici, dimostrando una diversa capacità di reazione e di adattamento (Fig.90). L'innesto reagisce ai segnali che riceve dalle radici e modula lo scambio gassoso durante i periodi di stress idrico. Esiste una vasta gamma di interazioni tra nesto e portainnesto, ma è provato che alcuni portainnesti hanno un ruolo importante e positivo in condizioni di stress (Tombesi et al, 2015; Merli et al, 2016,)

Figura 90

Analisi trascrittomiche su 1103 Paulsen e 101.14 Millardet-DeGrasset  
 Codici: OR = own rooted, G=grafted, R= espressione geni misurata,  
 T3= trattamento con pesante stress idrico

1103P_OR_R_T3		1103P_G_R_T3	
Chiusura stomatica	---	-	Chiusura stomatica
Amido e met. Zuccheri	+++		Amido e met. Zuccheri
Brassinosteroidi	++		Brassinosteroidi
Diterpeni	+		Diterpeni
Carotenoidi Terpenoidi	+++	+++	Carotenoidi
backbone Flavonoidi	+++	+	Terpenoidi backbone
Fenilpropanoidi	++++++	+++++	Flavonoidi
	+++++	+++	Fenilpropanoidi
<hr/>		<hr/>	
Chiusura stomatica	-	-	Chiusura stomatica
Amido e met. Zuccheri			Amido e met. Zuccheri
Brassinosteroidi			Brassinosteroidi
Diterpeni			Diterpeni
Carotenoidi	+	+++	Carotenoidi
Terpenoidi backbone			Terpenoidi backbone
Flavonoidi	+	+++	Flavonoidi
Fenilpropanoidi	+++	+++	Fenilpropanoidi
<b>101.14_OR_R_T3</b>			<b>101.14_G_R_T3</b>

## Conclusioni

L'impiego degli incroci e delle ibridazioni tra viti americane ed in seguito tra viti orientali ha permesso di superare la minaccia della fillossera. Inizialmente ha complicato il sistema obbligando il mondo viticolo a una grande serie di osservazioni prima, di sperimentazioni poi, per ottimizzare ogni combinazione d'innesto negli innumerevoli ambienti di coltivazione. Focalizzando sugli aspetti macroscopici, quali compatibilità tra i bionti, resistenza al calcare, al salino, alla siccità, ai terreni asfittici, senza indagare troppo oltre sugli effetti enologici.

Le ricerche più recenti, in particolare quelle promosse dai portainnesti M, hanno ulteriormente chiarito il ruolo degli apparati radicali e ci permettono di valorizzare il ter-



roir con scelte del portainnesto “situ specifica”.

La scelta del portainnesto, meno nota, e alla quale ancora oggi, si presta minor attenzione rispetto al bionte aereo (varietà e cloni), deve richiedere decisamente maggior attenzione, superando la semplice conoscenza analitica del suolo, integrando dati climatici e geologici. L'apparato aereo del vigneto è parte integrante dell'espressione del terroir e la scelta appropriata o inesperta condiziona la produzione e la qualità enologica dell'uva per l'intera vita dell'impianto.

## Il Sangiovese: cloni e maturazione

di *Paolo Storchi*, CREA – Centro di Ricerca Viticoltura ed Enologia di Arezzo

### **La variabilità clonale**

Il Sangiovese è caratterizzato da un'elevata variabilità morfologica, soprattutto del grappolo, che nel tempo ha dato origine ad un'ampia popolazione costituita da differenti biotipi che hanno favorito un ampio lavoro di selezione clonale. Questa variabilità ha spesso causato anche errori di classificazione varietale.

In passato il vitigno era suddiviso in due principali biotipi: “Sangiovese grosso” (ad acino grande) e “Sangiovese piccolo” (con acini di ridotte dimensioni) ed in alcuni casi assumeva anche nomi diversi. In proposito è interessante citare un caso peculiare: il Prugnolo gentile, tradizionalmente coltivato nella zona di Montepulciano per la produzione del vino Nobile, è stato iscritto nel Registro italiano dei Vitigni nel 1971 come cultivar indipendente, ma con successive indagini ampelografiche e genetiche si è rivelato essere indiscutibilmente Sangiovese.

La marcata variabilità intravarietale ha permesso di condurre negli ultimi 50 anni una notevole attività di selezione clonale. Ciò ha portato alla disponibilità di un elevato numero di cloni iscritti al registro nazionale e permette attualmente di scegliere tra diverse selezioni quelle più idonee per le varie esigenze aziendali. In effetti sono oggi iscritti al registro oltre 120 cloni di Sangiovese, selezionati

nei principali areali di tradizionale coltivazione, per cui il viticoltore dispone ormai di un ampio ventaglio di scelte. È qui utile ricordare che dal punto di vista agronomico il clone è un insieme di piante omogenee, ottenute per propagazione vegetativa da un unico capostipite. Quindi una pianta madre darà origine ad una progenie che deve essere chiaramente distinguibile dal resto della varietà e soprattutto stabile nel tempo, cioè avere dei caratteri che si ripetono costantemente nelle annate.

Il clone si può originare per effetto epigenetico o da una mutazione genetica vera e propria, cioè da una piccola variazione del genoma che si può verificare anche in una parte della pianta, ad esempio una gemma, che presenta una piccola differenza a livello dei geni. In pratica, quando viene propagato il materiale derivante da questa gemma, si ottiene un nuovo clone. In genere per selezionare un clone all'interno della varietà si sfruttano piccolissime mutazioni, in gran parte neanche marcatamente visibili. Si possono però avere utili mutazioni che comportano ad esempio un modesto anticipo fenologico o differenze nella morfologia del grappolo.

Talvolta queste modifiche possono essere più evidenti ed a quel punto se i caratteri mutati sono importanti, ad esempio per quanto riguarda il colore della bacca, non si può più parlare di clone, ma dal punto di vista agronomico avremo una nuova varietà. È questo il caso del Pinot, dove piccole mutazioni dei geni responsabili del colore dell'uva del hanno comportato l'origine di diverse varietà (Pinot bianco, grigio, nero). La possibilità che abbiamo di evidenziare piccole modifiche ottenute all'interno dei vitigni ci permette quindi di ottenere dei cloni, cioè delle discendenze omogenee che presentano caratteristiche stabili e differenziate rispetto alla varietà di riferimento.

Da questa evidenza deriva il lavoro di selezione clonale, cioè l'individuazione e scelta di cloni che presentano caratteristiche distintive e utili per la coltivazione. Il lavoro di selezione clonale è in genere abbastanza lungo e comporta più o meno una decina di anni di controlli e valutazioni. È un lavoro che va ripetuto nel tempo, iniziando dall'individuazione delle piante che presentano caratteristiche per noi interessanti ai fini della qualità dell'uva e soprattutto dei vini che andremo ad ottenere.

La selezione, tra l'altro, non è solo di tipo ampelografico e qualitativo, ma comporta anche controlli e riscontri di tipo sanitario, in quanto la legislazione vitivinicola comunitaria e nazionale prevede per il materiale di propagazione dei cloni anche una certificazione che esclude la presenza di alcuni importanti virus. In proposito devono essere rispettati dei protocolli stabiliti dal Ministero dell'Agricoltura, il quale poi va ad autorizzare l'eventuale diffusione vivaistica dei nuovi cloni.

Un clone per essere commercializzato deve quindi essere iscritto nel Registro nazionale delle varietà di vite, cioè in un registro pubblico che è possibile consultare direttamente attraverso il sito del Ministero ([www.catalogoviti.politicheagricole.it](http://www.catalogoviti.politicheagricole.it)) e nel quale sono riportate utili informazioni descrittive e di tipo statistico. Tutti i cloni in commercio sono sottoposti inoltre a periodici controlli e certificazione di tipo ampelografico e sanitario da parte del Servizio fitosanitario nazionale e regionale, che in pratica si concretizza nella presenza sui mazzi di barbatelle di un cartellino di colore azzurro con riportate tutte le indicazioni relative al materiale di propagazione ed al vivaista che ha prodotto le viti.

Tutta questa organizzazione prevede anche delle denunce annuali di produzione e le relative verifiche, è quindi un

sistema abbastanza rigido ma anche importante soprattutto per la sicurezza del viticoltore che utilizzerà il clone.

### **Metodica di selezione**

La metodica di lavoro parte dall'individuazione delle piante madri dei cloni, in genere all'interno di vecchi vigneti dove sia presente una notevole variabilità ampelografica con individui meritevoli ai fini del miglioramento delle produzioni. La prima selezione in campo è generalmente di tipo visivo, ad esempio per le caratteristiche del grappolo. Nel Sangiovese è quindi molto apprezzata la presenza di grappoli poco compatti, tendenzialmente piuttosto spargoli perché meno sensibili ai marciumi.

Successivamente all'individuazione delle piante madri (anche in vigneti diversi) deve essere prelevato il materiale di propagazione per realizzare un vigneto di confronto e valutazione della stabilità nel tempo dei caratteri desiderati. Anche per questa attività è previsto il controllo del Servizio fitosanitario nazionale, per cui il costituente deve effettuare una registrazione dei campi di selezione clonale dove si andranno a valutare i nuovi cloni.

In parallelo ai controlli agronomici ed enologici vengono attivate le varie verifiche sullo stato sanitario attraverso test sanitari immunoenzimatici "ELISA" ed indexaggi, cioè con l'innesto su piante indicatrici della presenza di virus. Ultimamente anche i test genetici per l'individuazione dei virus fanno parte dei controlli di routine, permettendo di velocizzare notevolmente i tempi di lavoro. Le principali malattie che dobbiamo escludere in fase di selezione clonale sono quelle relative ai virus. Questi patogeni non si combattono con i fitofarmaci ma se ne può limitare la diffusione e presenza attraverso un'accurata selezione sanita-

ria, prevista anche in via legislativa. Le virosi che precludono la registrazione e commercializzazione dei cloni sono riferite a diversi gruppi di patogeni. Tra questi il gruppo delle malformazioni infettive, di cui sono agenti il virus dell'arricciamento (GFLV) ed in misura minore il mosaico dell'Arabis (ArMV), provoca acinellatura ed è presente in genere nel Sangiovese in misura doppia rispetto alle altre varietà (arriva a colpire il 30% delle piante testate).

Un altro gruppo abbastanza diffuso è quello dell'acartocciamento fogliare, anche questa patologia è dovuta a un complesso di virus e risulta abbastanza presente nel Sangiovese: in Toscana si trova su circa il 40% delle piante esaminate. Sono diversi i gruppi noti, almeno sette, tra cui è in genere dominante il tipo GLRaV-3. Anche la sintomatologia del legno riccio è molto presente (fino al 50% sulle viti testate), anche se non evidenzia particolari problemi a livello agronomico e produttivo.

Infine, pur non rilevante a livello legislativo, è da evidenziare come nel Sangiovese (così come in altri vitigni) sia spesso presente il virus della maculatura infettiva (Fleck), patogeno latente di media diffusione. Attualmente in Italia la presenza di questo virus viene esclusa solo per i portinesti, mentre non è obbligatoria la sua assenza nelle varietà (anche se tendenzialmente si cerca di escluderlo).

Per arrivare alla richiesta di omologazione del clone sono necessarie le verifiche su almeno tre annate produttive nel vigneto di confronto, per cui tutto il processo di selezione richiede più o meno 10 anni per arrivare ad ottenere la registrazione di un nuovo clone. Considerando poi i tempi della fase iniziale di diffusione e propagazione vivaistica, è evidente come il periodo intercorrente tra individuazione di un nuovo clone ed effettiva disponibilità per il viticoltore sia relativamente lungo.

## **Produzione vivaistica**

Il Sangiovese è una delle varietà più propagate a livello nazionale e questo ha favorito negli ultimi anni un notevole rinnovo e ringiovanimento dei vigneti.

Il materiale clonale è oggi largamente preferito dai viticoltori, tanto che nel 2020 su 8,2 milioni di barbatelle vendute solo 750.000, meno del 10%, erano di categoria standard non certificata, tipologia probabilmente destinata a scomparire nei prossimi anni se non per la riproduzione di materiali aziendali.

È comunque da evidenziare che i primi 10 cloni rappresentano oltre il 50% della produzione nazionale e sono ben 58 i cloni cosiddetti “fantasma”, cioè non propagati dai vivaisti o con produzioni non significative: sostanzialmente abbiamo tanti cloni registrati, ma pochi effettivamente disponibili per i viticoltori, che talvolta si devono adattare ed acquistare quello che è disponibile sul mercato.

Nel dettaglio delle produzioni annuali, secondo le più recenti statistiche (Tab. 16) solo 3 cloni superano le 500.000 barbatelle ed il clone romagnolo VCR23 è attualmente quello più propagato, con tendenza all'aumento. Probabilmente la ragione dell'incremento sta nel fatto che non si tratta di una selezione recente ed oggi è a disposizione di molti vivaisti.

**Tabella 16**

**Produzione vivaistica di barbatelle dei principali cloni e tendenza negli ultimi anni (↑ aumento, ↓ decremento, ↔ stabile, i valori sono espressi in migliaia di piante)**

clone	tendenza	2020	2015
VCR 23	↑	642	256
F9 A5 48	↔	543	549
VCR 5	↑	523	94
R 24	↑	449	374
CC 2000/1	↑	418	315
CC 2000/4	↔	339	295
CC 2000/5	↑	296	124
CC 2000/7	↑	276	104
VCR 235	↑	217	128
VCR 102	↓	202	466
SG 12T	↓	157	314
FEDIT CH 20	↓	106	211
VCR 103	↓	79	391

## **Caratteristiche dei cloni**

Nel recente passato si sono cercati cloni con caratteristiche di precocità di maturazione, bassa produzione, ricchezza zuccherina, parametri che alla luce dei cambiamenti climatici in atto negli ultimi anni non risultano più particolarmente desiderate.

Attualmente si preferiscono cloni con maturazione più tardiva, in particolare in varietà come il Sangiovese dove abbiamo spesso un effetto di “disaccoppiamento” tra maturazione zuccherina e fenolica. Quindi oggi non è tanto importante avere un clone ricco di zuccheri e precoce, se



poi non abbiamo un adeguato contenuto di antociani. Da qui deriva la necessità di ripensare alle nuove selezioni clonali, anche se da qualche tempo ormai non si va tanto a cercare il clone “eccezionale” o ideale, ma si propende a coltivare un gruppo di cloni complementari, che possono avere caratteristiche anche molto diverse tra loro e che consentono un buon adattamento alle diverse condizioni ambientali tra le annate. Il Sangiovese ha un’elevata variabilità intravarietale dovuta sia ad una serie di piccole variazioni genetiche, sia ad una marcata interazione con l’ambiente, ed anche questo contribuisce ad avere tanti cloni. Questa variabilità è stata notata da molto tempo: almeno da cento anni abbiamo lavori che testimoniano le differenze morfologiche ad esempio nell’acino, oppure nel grappolo, per cui sono state evidenziate diverse sub-popolazioni.

In un lavoro di Campostrini et al. (1995) venivano individuati ben cinque biotipi per morfologia delle foglie e del grappolo, sostanzialmente confermati anche da lavori più recenti. È stato evidenziato anche come erano distribuite le diverse tipologie a livello territoriale nell’ambito della regione Toscana, probabilmente perché nel tempo in ogni areale era stata privilegiata la propagazione di un tipo rispetto ad un altro.

Dal punto di vista ampelografico il Sangiovese è quindi un vitigno che presenta una notevole variabilità, soprattutto per quanto riguarda le tipologie dei grappoli (Fig. 91) e degli acini, che possono avere dimensioni e caratteristiche differenziate. Anche per questo motivo risulta la varietà italiana con il maggior numero di cloni e ne sono attualmente iscritti al Registro nazionale ben 128 (oltre a 3 cloni di Prugnolo gentile che geneticamente è identico al Sangiovese).

**Figura 91**

**Caratteristiche ampelografiche del grappolo di cloni diversi del Sangiovese (da sinistra: grappolo con ala evidente, grappolo cilindrico, grappolo conico con piccola ala)**



Ciò è il risultato di decenni di lavoro condotto nei principali areali di coltivazione e soprattutto in Toscana, dalla quale arrivano 98 cloni, ed a seguire in Romagna dove sono selezionati 19 cloni. Questi sono anche i territori storici di origine del vitigno, da cui poi si è espanso verso il centro sud Italia, soprattutto nel versante adriatico (6 cloni sono stati selezionati nelle Marche e 4 in Puglia).

Relativamente al comportamento agronomico, è noto come all'aumentare della produzione unitaria vanno a diminuire i contenuti in zuccheri del mosto. Questo si verifica in generale, però abbiamo anche comportamenti diversi e non lineari, per cui possiamo avere cloni che anche in caso di alta produzione esprimono un potenziale di accumulo di zuccheri elevato: questo è un primo esempio in cui si può differenziare la risposta nei riguardi delle produzioni di uva e quindi di produttività e livello zuccherino. Un aspetto produttivo che invece non è risultato assolutamente collegato agli zuccheri è quello della dimensione degli

acini, per cui i cloni ad acido grande o piccolo possono avere una risposta del tutto slegata per quanto riguarda il contenuto in zuccheri. Questo è un aspetto di cui oggi teniamo conto nella selezione, per cui non andiamo a cercare, nei riguardi degli zuccheri, il grappolo con acini molto piccoli.

È noto che un punto debole del Sangiovese può essere rappresentato dalla qualità e quantità del contenuto in sostanze coloranti dell'uva, vale a dire sostanzialmente della componente antocianica che nel Sangiovese è rappresentata da malvidina e cianidina: sono questi i due antociani su cui si esprime la variabilità dei cloni.

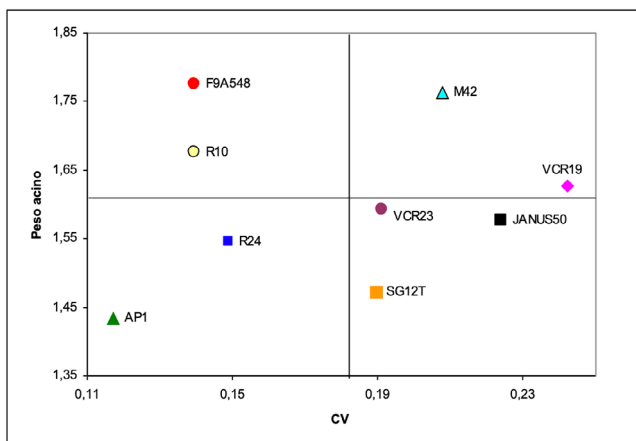
In genere, all'aumentare di una componente, diminuisce l'altra. La malvidina dà più stabilità nel tempo, mentre la cianidina tende a precipitare o comunque a diminuire a lungo termine. Sono invece quasi del tutto assenti gli antociani acilati, componente molto stabile dei pigmenti coloranti. Negli anni recenti è stato evidenziato un interessante aspetto relativo all'effetto "epigenetico" su vitigni e cloni, cioè l'influenza dell'ambiente di coltivazione sull'espressione genetica.

Tra i cloni del Sangiovese è stato messo in evidenza, ad esempio, che l'uva di quelli selezionati nel Chianti presenta in media valori maggiori in polifenoli totali ed antociani, in particolare per quanto riguarda il contenuto in malvidina.

Un'altra caratteristica interessante è quella relativa alla cosiddetta stabilità ambientale, cioè la diversa risposta negli ambienti e nelle annate del vitigno e dei suoi cloni. Un esempio in figura 92 è rappresentato dal peso medio degli acini e dal relativo "coefficiente di variabilità" (C.V.), cioè un indice che fornisce informazioni su quanto un clone sia sensibile alle sollecitazioni ambientali: quanto più questo coefficiente è alto, tanto più il clone sarà poco stabile e

quindi risponderà in modo evidente, con notevoli variazioni del parametro valutato.

**Figura 92**  
**Coefficiente di variabilità di cloni di Sangiovese per il parametro peso degli acini (zona Chianti Rufina, valori medi di 8 annate)**



I cloni più stabili, quindi, saranno quelli meno dipendenti dalla stagionalità e daranno risposte simili nel corso delle differenti annate ed in vari ambienti pedoclimatici.

Questo tipo di indagine possiamo farla su varie caratteristiche produttive: per quanto riguarda il contenuto zuccherino alla vendemmia si possono differenziare cloni che avendo alta o bassa gradazione media presentano una diversa risposta e stabilità ambientale, lo stesso vale per altri parametri quali il contenuto acidico o polifenolico. In sintesi, sono presenti diversi caratteri produttivi che si possono valutare nel tempo, in base alla loro ripetibilità e stabilità. Un ampio lavoro pluriennale condotto in vari ambienti del Chianti Classico ((Bandinelli et al., 2001)

aveva evidenziato una diversa capacità di accumulo degli zuccheri, con i cloni R10 e M42 che complessivamente manifestavano i valori minori. Lo stesso clone M42 coltivato in Maremma aveva invece evidenziato i maggiori livelli zuccherini (e più bassi antociani) in un confronto triennale con altri 5 cloni (Di Collalto et al., 2001). Una successiva indagine condotta su 9 cloni nel Chianti Classico (Bandinelli et al., 2006) aveva evidenziato una maggiore capacità di accumulo di zuccheri ed antociani per CH20 e TIN10. Nello stesso ambiente uno studio quadriennale (Giannetti et al., 2006) aveva evidenziato una maggiore stabilità antocianica per R10 e F9 A5 48, senza differenze nei rapporti tra le diverse antocianine.

Sperimentazioni di 4 anni condotte in Romagna su diversi cloni (Borghi e Fontana, 2006) non avevano rilevato differenze significative nel contenuto zuccherino alla vendemmia. Risultavano invece significativamente dissimili i valori di acidità titolabile e pH; in particolare R10 presentava il valore di acidità più basso ed il pH più elevato, non riuscendo a raggiungere un buon equilibrio compositivo. Il clone SG 12T presentava invece i valori di acidità più alti.

Altre ricerche condotte in Puglia (Suriano et al., 2010) avevano evidenziato differenze di maturazione tra i cloni R10 e AP SG1 allevati a tendone. In particolare, il secondo risultava più precoce e con maggiore contenuto in antociani nell'uva e nel vino, con differenze marcate nelle annate più fresche e piovose. Più recenti ricerche condotte nel comprensorio del Chianti Rufina per un periodo di 5 annate (2016-2020), hanno evidenziato differenze statisticamente significative nel comportamento di un gruppo di 10 cloni. A parità di carica di gemme la produzione per pianta è risultata molto differenziata tra i cloni, e soprattutto si è evidenziata una diversa stabilità del carattere, cioè una

risposta nelle annate più o meno stabile della produzione, correlata alla fertilità delle piante.

Come rilevabile dalla tabella 17 anche le differenze in termini di accumulo zuccherino erano notevoli, con valori medi che variavano da 20,6 a 23 °Brix. Pure per il contenuto in sostanze coloranti i valori analitici mostravano un'elevata variabilità tra i cloni più dotati (VCR 235 e VCR 209) e quelli meno ricchi di antociani (VCR 102, Agri 45, Agri 3).

**Tabella 17**

**Caratteristiche dell'uva alla vendemmia – zona Chianti Rufina  
(valori medi di 5 annate, a lettere diverse corrispondono differenze  
statisticamente significative al test Duncan)**

clone	zuccheri (°Brix)	Acidità titolabile (g/L acido tartarico)	pH	Antociani totali (mg/L)	Antociani estraibili (mg/kg)
VCR 102	20.6 a	6.21 f	3.17 a	1085 a	694 ab
SS-F9-A5-48	21.3 ab	5.68 abcd	3.28 bcd	1197 abc	731 bcd
VCR 109	21.3 ab	6.00 def	3.22 b	1221 abc	749 bcde
Agri 45	21.6 bc	5.79 bcde	3.24 bc	1172 ab	706 abc
VCR 23	22.4 cd	5.54 ab	3.31 d	1320 cd	790 de
CC 2000/7	23.0 d	5.60 abc	3.28 bcd	1327 cd	781 cde
ISV RC 1	22.4 d	5.94 cdef	3.25 bcd	1277 bc	757 bcde

Nella stessa sperimentazione è stata evidenziata l'influenza dei cloni nel contenuto percentuale delle diverse antocianine (Tab.18).

Pur con variazioni modeste, alcuni cloni presentavano ad esempio contenuti maggiori in malvidina (Agri 3, SS F9 A5 48). Nessuna differenza statistica è stata invece rilevata nel contenuto in antocianine acilate, risultate sempre con valori molto ridotti.

Anche nei riguardi del rapporto tra zuccheri ed antociani sono stati evidenziati comportamenti diversi tra i cloni (Fig. 93).

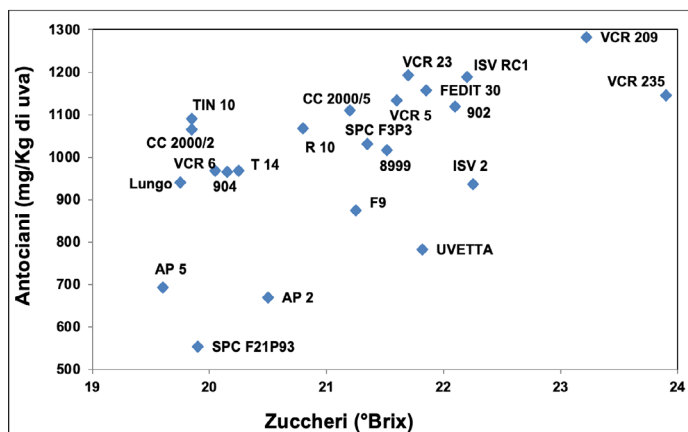
**Tabella 18**

**Composizione antocianica dell'uva – zona Chianti Rufina (valori medi di 5 annate, a lettere diverse corrispondono differenze statisticamente significative al test Duncan)**

clone	Delfinidina (%)	Cianidina (%)	Petunidina (%)	Peonidina (%)	Malvidina (%)	Antocianine acilate (%)
CCL 2000/7	13.1 cd	17.7 ab	15.3 cde	14.7 ab	37.0 abcd	2.2
Agri 3	10.6 a	17.6 ab	13.5 a	17.1 d	39.4 d	1.9
Agri 45	13.8 d	18.7 bc	15.4 cde	14.5 ab	35.8 abc	1.9
SS-F9-A5-48	11.5 ab	17.5 ab	14.2 ab	16.5 cd	38.5 cd	1.7
ISV RC 1	13.1 cd	17.3 ab	15.5 de	14.3 a	38.0 bcd	1.7
VCR 102	12.5 bc	17.6 ab	14.7 bc	15.3 abc	37.8 bcd	2.2

**Figura 93**

**Rapporto tra antociani e zuccheri nell'uva di cloni di Sangiovese (medie di 4 annate, collezione CREA Arezzo)**



Pur con una correlazione positiva tra i due parametri, alcuni cloni (ad esempio CC2000/2, CC2000/5 e TIN 10) tendono a favorire in misura maggiore la sintesi di anto-

cianine, anche con valori più contenuti in zuccheri, e tale aspetto potrebbe rivelarsi in prospettiva molto utile nelle condizioni di riscaldamento climatico che negli ultimi anni tende a disaccoppiare la maturazione zuccherina da quella polifenolica.

## **Conclusioni**

Da quanto esposto in precedenza, risulta evidente l'importanza di valutare il comportamento dei vari cloni in ambienti diversi, in modo da procedere con le scelte più idonee in base agli specifici obiettivi aziendali. Attualmente abbiamo a disposizione molti cloni registrati, risulta però carente la valutazione del loro comportamento dal punto di vista agronomico ed enologico nei vari ambienti, anche perché a livello di sperimentazione sono presenti pochi campi di confronto, e solitamente con un numero limitato di cloni: sarebbe invece utile nelle varie zone produttive, anche a livello delle singole aziende, realizzare dei vigneti per valutare quali cloni siano più idonei nei diversi ambienti.

In proposito è da rimarcare la sperimentazione appena avviata presso l'Azienda Banfi di Montalcino, dove verrà realizzato un vigneto con circa 120 cloni del Sangiovese riuniti in un unico ambiente in quella che diverrà la maggiore collezione a livello internazionale.

Nel lavoro di selezione clonale è comunque indispensabile velocizzare i tempi di lavoro, in quanto periodi di dieci anni di lavoro per la selezione, cui ne vanno aggiunti almeno altri due o tre per la registrazione e la messa in commercio, rappresentano tempi troppo lunghi per l'effettiva disponibilità sul mercato vivaistico e per le esigenze delle nostre aziende.



**Parte terza**  
**La valutazione della  
maturazione**

## Valutazione della variabilità nella maturazione del vigneto

di *Luca Toninato*, Ager-Enosis

La scelta della corretta epoca di raccolta di raccolta è fondamentale per ottenere uve di qualità ottimale rispetto agli obiettivi enologici prefissati. Per capire l'andamento della maturazione in un vigneto si preleva un campione di uva e lo si porta ad analizzare il laboratorio per valutare gli andamenti dei componenti della maturazione (zuccheri, acidità, pH, colore, ecc.). Il metodo di campionamento ha una grande influenza sul risultato delle analisi chimiche e di conseguenza sulle decisioni prese sulla base di tali parametri; solitamente si prendono dei riferimenti abbastanza stabili nel corso degli anni (qualche filare) e in quelli si fanno i campionamenti, perché tra un campionamento e quello successivo si vede quanto sta variando la maturazione e per cercare di diminuire la variabilità presente all'interno del vigneto (se si campionano filari troppo distanti potrebbe essere che le differenze maturative osservate dipendono più dal tipo di suolo su cui sono i diversi filari che non dall'effettivo progredire della maturazione).

Sempre per avere campioni rappresentativi sul grappolo devo posizionarmi nella raccolta degli acini, sia sulla parte nascosta che sulle ali o sulla punta, sia nelle parti esposte alla luce piuttosto che in quelle ombreggiate dalla vegetazione. Tale metodologia classica si scontra con il fatto che i vigneti non sono uniformi soprattutto in collina; i suoli cambiano per composizione e capacità di ritenzione idrica

lungo il versante e ciò si ripercuote sulla maturazione delle uve. In una tale situazione se si campionano due filari sbagliati si possono osservare grandissime differenze e quindi non capire cosa avviene nella media del vigneto. (Fig.94)

**Figura 94**

**Movimenti terra, erosione, variabilità pedologica inducono sempre gradi di eterogeneità nei vigneti**



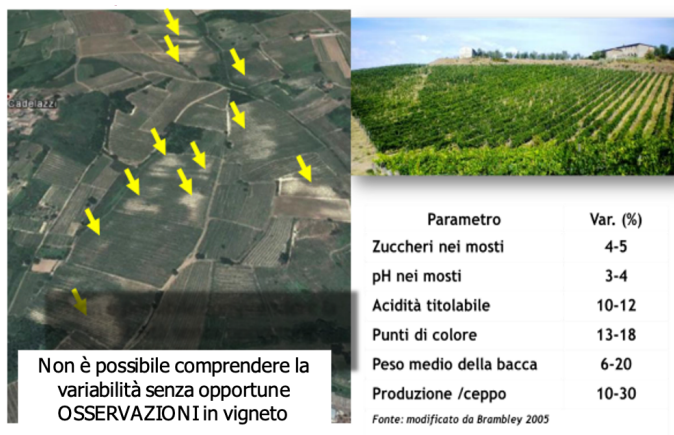
Quindi soprattutto per vigneti in collina e produzioni di qualità bisogna considerare l'esistenza di questa variabilità in quanto ci sono ripercussioni su tutti i parametri vegeto produttivi della vite come la qualità e la produzione; praticamente si possono osservare vigneti diversi posti all'interno di uno stesso appezzamento. Questa variabilità può essere divisa concettualmente in due: esistono fattori statici e fattori dinamici; i primi non possono essere cambiati (come il suolo), gli altri invece sono ad esempio quelli legati alla meteorologia che cambiano di continuo. Cambiano anche in funzione della tipologia di gestione agronomica: basti pensare a come una chioma molto espansa

piuttosto che una contenuta influenzi la qualità dell'uva.

Bisogna quindi affrontare un'incertezza dovuta alla eterogeneità nella produzione perché si adottano le stesse tecniche di conduzione in diverse zone con diverse necessità o differenze di produzione e di qualità. La tecnologia però ci sta aiutando perché questa variabilità viene valutata all'inizio, e quindi si attuano degli interventi differenziati, si può avere una gestione ottimale per ogni sottozona individuata: è il concetto di viticoltura di precisione che è uno strumento che mi permette di permettere di valutare la variabilità esistente per poi modulare la gestione agronomica (Fig.95).

**Figura 95**

**La variabilità dei suoli e dell'esposizione induce differenze anche grandi nelle diverse zone di un vigneto**



Nelle moderne *smart farm*, ovvero le aziende agricole intelligenti, esistono sistemi per valutare la variabilità, sistemi per gestire questi dati, per interpretarli e quindi portare questo tipo di dato sulle macchine operatrici. Le macchine

che possono gestire questo tipo di dato sono dette VRT, ovvero a dose variabile, perché sono in grado di variare la loro operatività in base alla variabilità che incontrano.

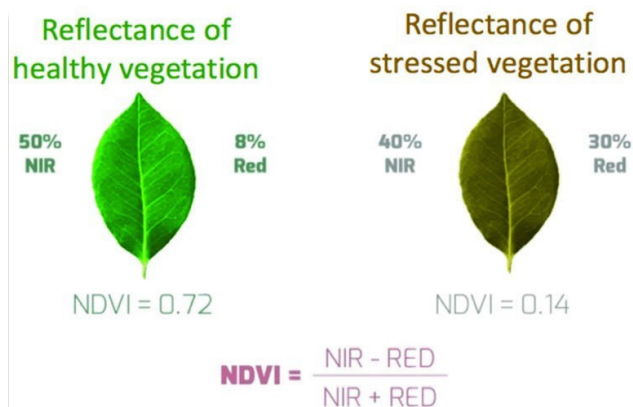
Inoltre, questi dati possono essere anche interpretati da DSS (*Decision Support System*) per fornire all'agronomo, il decisore finale, più strumenti per una corretta e tempestiva attuazione.

Quali sono le criticità? Spesso i dati sono tanti: sono dati meteo (con diverse fonti), i dati dei suoli, i dati raccolti a terra, i dati del vigore (da satellite, da prossimale); devono essere tutti gestiti e armonizzati e inoltre va formato il personale aziendale e lavorare in modo diverso. Ad esempio, i campionamenti dell'uva in prevendemmia si fanno utilizzando una mappa di vigore su uno smartphone. I sistemi di valutazione non distruttiva tramite sensoristica sono basati sul fatto che la foglia assorbe tutte le lunghezze d'onda del visibile tranne che nel verde, però l'energia solare non ha solo bande nel visibile ma anche ad esempio nell'infrarosso e le foglie interagiscono anche con queste.

Tra gli indici che utilizzano tali bande spettrali, quello più usato oggi è l'NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*) che utilizza l'infrarosso e il rosso vicino. È un indice utilizzato da tantissimi anni in agricoltura (a partire dagli anni 90), e in viticoltura ha un'ottima correlazione rispetto ai dati della produzione e della qualità dei vigneti. Ha un valore compreso tra zero e uno, dove i valori più bassi corrisponde una pianta è più stressata e viceversa. Questo però non è un valore assoluto, non è una scala assoluta. Ad esempio, 0,7 di NDVI non mi dice sempre la stessa cosa perché un valore così sul Cabernet è diverso da un valore del genere sul Sangiovese; si parla infatti di un indice relativo con delle correlazioni rispetto alle osservazioni (Fig.96).

**Figura 96**

L'indice NDVI si basa sulla differenza di assorbimento dei raggi infrarossi e rosso vicino tra piante "normali" e piante sotto stress. Esige una calibrazione varietale



Come posso oggi capire e raccogliere questo dato? Posso farlo con i satelliti, che oggi sono molto precisi, come ad esempio Sentinel2, una costellazione di satelliti della Comunità europea che ha lo scopo di monitorare la vegetazione sul pianeta terra e che ogni cinque giorni forniscono immagini di un pixel di terreno (10x10 metri) e i cui dati possono essere scaricati gratuitamente. Esistono poi dei satelliti a pagamento che fanno lo stesso lavoro ma più precisamente perché addirittura arrivano a 50 cm di rilievo (Fig. 97).

L'utilità di essere più o meno precisi sul rilievo dipende dallo scopo che ci si pone; rilievi NDVI possono essere fatti anche con vari sensori da montare sui droni, sui trattori, sui quad ecc. (Fig. 98).

**Figura 97**  
**Reti satellitari disponibili**



**ESA Sentinel 2**

2 satelliti  
Passaggio ogni 5 giorni  
Rilievo 10 x 10 m  
Free e open data

**Landsat**



**Altri satelliti (a pagamento)**

Rapideye  
Pleiade  
Komsat Ikonos  
QuickBird  
WorldView  
GeoEye

**Figura 98**  
**Oggi sono diverse le opportunità di scelta. Questi rilevatori possono facilmente accompagnarsi a trattrici, quad, droni**

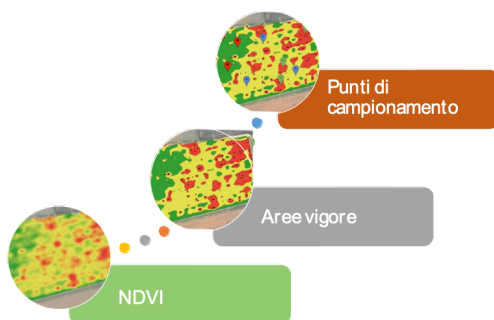


Dualex Multiplex  
Viticanopy  
Physiocap  
Greenseeker  
Qualiris Grappe  
RotBot Spectron  
N-tester  
Luminar

Smart grappe  
Vitis flower  
Fruitipy  
WSN

Esistono anche situazioni che coinvolgono applicazioni per gli smartphone con strumenti che valutano in modo non distruttivo la qualità dell'uva, oppure sensori termometrici utili per identificare lo stress idrico e altre strumentazioni si stanno sviluppando. Tornando alla vendemmia successivamente alla fase di indagine e valutazione della eventuale variabilità presente deve essere decisa la strategia di intervento. Posso prendere atto della situazione e cercare di valorizzare al massimo la variabilità esistente effettuando ad esempio vendemmie differenziate oppure si può pensare di iniziare ad applicare tecniche di gestione che portino nel tempo ad aumentare l'omogeneità nel vigneto. Dal punto di vista operativo il primo passo è sempre lo studio della variabilità attraverso le mappe di vigore per programmare le zone dei campionamenti per costruire le cinetiche di maturazione per capire come va la vendemmia ed eventualmente (a mano o a macchina) programmare vendemmie differenziate. (Fig. 99)

**Figura 99**  
**Creazione delle mappe di vigore**





Le stesse mappe di vigore possono essere utilizzate per creare mappe derivate (es produzioni, qualità) da cui poi realizzare mappe di prescrizione come, ad esempio, quelle per effettuare le concimazioni con macchine VRT a dose variabile. Oggi effettuare rilievi in campo utili alla creazione di mappe derivate è più facile grazie all'utilizzo di APP che mostrano la posizione rispetto a mappe di vigore o mappe del suolo.

Le stesse mappe possono essere utilizzate anche per altre finalità: posso variare l'intensità della potatura manuale, effettuare concimazioni semi meccanizzate controllando la posizione sul monitor o ancora effettuare vendemmia con macchine VRT che raccolgono l'uva di zone omogenee per effettuare vinificazioni separate con qualità, e quindi potenziali prezzi, molto diverse (Fig. 100).

**Figura 100**  
**Possibili impieghi delle mappe nella viticoltura di precisione**



## **Conclusioni**

Concludendo si può capire che i dati oggi disponibili sono molto numerosi; questi dati devono essere elaborati per diventare informazioni ed è grazie alle informazioni che vengono prese le decisioni. Oggi un agronomo, colui che prende le decisioni in campo, deve essere capace di interpretare i nuovi sistemi come un altro tassello per aumentare le proprie competenze ed applicare l'assioma fondamentale della agricoltura di precisione "fare la cosa giusta, ne momento giusto, nel posto giusto".

## L'analisi sensoriale delle uve

di *Giuliano Boni*, Vinidea srl

La valutazione della qualità enologica dell'uva è un obiettivo fortemente ricercato sia dai tecnici viticoli, che devono potere avere a disposizione parametri oggettivi per indirizzare le scelte in vigneto, sia dagli enologi, i quali, sulla base delle caratteristiche dell'uva, devono impostare o adattare la tecnologia di vinificazione. Una metodica che viene incontro a queste esigenze è l'Analisi Sensoriale Descrittiva Quantitativa delle uve (ASDQ), messa a punto sul finire del secolo scorso dall'equipe del dottor Jacques Rousseau dell'Institut Coopératif du Vin (ICV) di Montpellier, e da allora messa in pratica con grande soddisfazione in numerose regioni viticole a livello mondiale.

Grazie alla sua ripetibilità, semplicità di implementazione, rapidità di esecuzione (circa 20/30 minuti per una parcella) e al costo ridotto, si sta affermando come tecnica di riferimento per la valutazione delle principali caratteristiche chimico-fisiche dell'uva (zuccheri, acidità, maturità fenolica e aromatica), risultando perfettamente complementare alle curve di maturazione ottenute con le classiche analisi di laboratorio (Fig. 101).

**Figura 101**  
**Le ragioni dell'analisi sensoriale**

- C'è bisogno di uve mature per elaborare grandi vini
- La maturazione dell'uva è un fenomeno complesso, che i metodi analitici non caratterizzano a sufficienza
- Le caratteristiche dell'uva lasciano presagire quelle del vino
- L'analisi sensoriale è un metodo di valutazione prezioso, a condizione di essere normalizzato

**MA:**

- L'uva è molto eterogenea, la sua composizione evolve nel tempo
- Si tratta di una produzione stagionale

**DA CUI:**

- Importanza di dotarsi di una metodica rigorosa
- Importanza di una formazione appropriata con acini scelti per stadio di maturazione

La metodica permette di definire i profili sensoriali di ciascuna parcella del vigneto, per selezionare l'uva conferita e per scegliere la strategia di vinificazione più opportuna, nell'ottica di prevenire rischi di difetti ed esaltare allo stesso tempo le caratteristiche peculiari del vitigno.

La Metodica ICV prevede una valutazione scritta, tramite la compilazione di un'apposita scheda e, conseguentemente, la creazione di una banca dati che consente di mettere a confronto stadi successivi del processo di maturazione e annate differenti, di valutare gli effetti di differenti pratiche agronomiche e di scambiare informazioni precise e dettagliate tra le varie figure presenti in azienda. La rapidità di esecuzione consente di ottenere un risultato immediato in funzione del quale poter prendere le conseguenti decisioni operative. In Italia è stata introdotta da oltre vent'anni grazie all'attività di Vinidea, società specializzata nella formazione e aggiornamento professionale

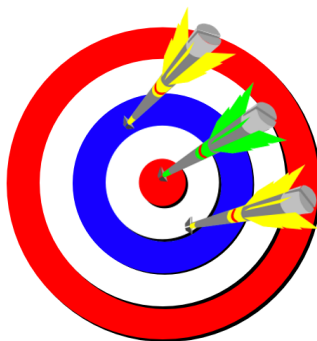
per gli operatori della filiera vitivinicola, nell'ambito di un accordo di collaborazione con l'ICV stesso (Fig. 102).

**Figura 102**

**Protocollo preciso e allenamento dei degustatori sono basi imprescindibili**

**Messa a punto di un protocollo rigoroso**

- ☺ **Ripetibilità**
- **riproducibilità?**
- ☺ **Precisione**
- **Sensibilità?**



**Allenamento dei degustatori**

12

L'applicazione più immediata dell'ASDQ è ovviamente nella scelta del momento in cui vendemmiare, che riveste un'importanza cruciale sui risultati enologici ottenibili, influenzando fortemente le caratteristiche compositive dell'uva; raggiungere il livello ottimale di maturazione, differente a seconda della tipologia di vino che si intende produrre, è quindi l'obiettivo a cui l'agronomo deve ambire, in particolare nel caso si miri a elaborare vini di elevato livello qualitativo e dotati di forte personalità.

## **Analisi sensoriale descrittiva quantitativa**

La Metodica ICV si basa sui principi dell'Analisi Sensoriale Descrittiva Quantitativa (ASDQ) delle uve, che prevede l'adozione di un protocollo di degustazione che valuta descrittori che possono essere quantificati dai degustatori dopo un'apposita formazione; ovviamente la precisione e la ripetibilità dell'analisi sensoriale sono direttamente correlabili al grado di allenamento dei degustatori. L'ASDQ considera descrittori caratterizzati dal fatto di essere pertinenti, ricorrenti, misurabili, accessibili a tutti; a ogni parametro viene attribuito un punteggio su una scala di quattro valori, partendo da 1, che nella maggior parte dei casi denota il non maturo, fino a 4, che rappresenta invece la piena maturità; fanno eccezione i descrittori acidità, erbaceo e astringenza, per i quali la scala di valori è invertita.

## **Metodica ICV**

La Metodica ICV contempla una valutazione analitica e una valutazione sintetica.

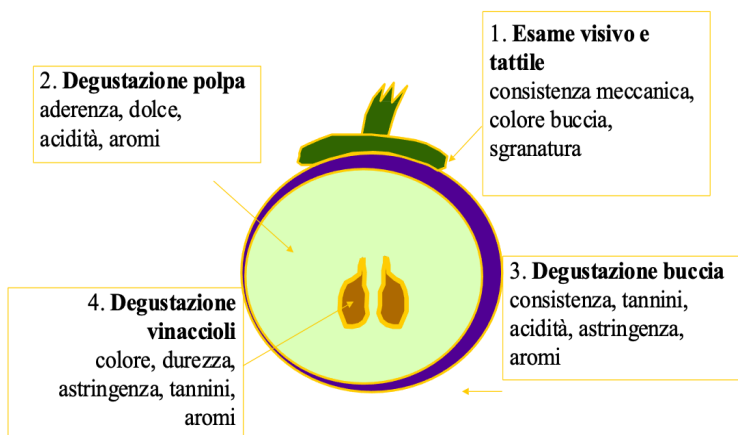
### **Valutazione analitica**

Si basa su 19 descrittori e viene eseguita in laboratorio, per lo più a scopi didattici o sperimentali; è comunque sempre consigliata ad inizio stagione come training e taratura dei degustatori. La Metodica ICV prevede siano utilizzati 3 acini per ogni assaggio, ripetendo l'analisi almeno 3 o 4 volte per ciascun campione prelevato. Siccome l'analisi viene fatta su un numero esiguo di acini, non è superfluo sottolineare l'importanza di prelevare un campione rappresentativo, dal momento che il grado di ma-

turazione varia non solo all'interno del vigneto ma anche tra le piante, tra i grappoli nell'ambito di una stessa pianta e all'interno di ciascun grappolo, in funzione della posizione e dell'esposizione degli acini. Nell'ambito di un vigneto omogeneo, il campionamento deve essere eseguito scegliendo 2 interfilari e contrassegnandoli per i prelievi successivi; percorrendo ciascun interfilare spostandosi alternativamente a destra e sinistra, si deve prelevare ad intervalli regolari.

La Metodica ICV prevede che dopo un esame visivo e tattile dell'acino siano degustati in successione la polpa, i vinaccioli e infine la buccia (Fig.103).

**Figura 103**  
**L'assaggio della buccia è uno dei punti cardine per valutare la maturazione**



Schiacciando l'acino tra le dita viene valutata la consistenza meccanica, che diminuisce col progredire dello

stato di maturazione; si considera poi il colore degli acini, compreso tra rosa e nero per l'uva a bacca nera e tra verde invaiato e giallo ambrato per quella a bacca bianca. Il terzo parametro considerato è l'attitudine alla sgranatura, che si valuta considerando la facilità con cui il pedicello si distacca dall'acino; il grado di maturazione ottimale coincide in questo caso con un pedicello che si distacca molto facilmente e con un pennello (frammenti dei vasi conduttori) con poca polpa aderente e, nel caso di uva a bacca nera, con colorazione rossa.

Mettendo poi gli acini in bocca uno alla volta e schiacciandoli con la lingua contro il palato, si separa la polpa da bucce e vinaccioli, che sono conservati temporaneamente in mano o in un piattino. Durante questa procedura, prendendo in considerazione l'aderenza della polpa alla buccia si valuta l'attitudine alla separazione, che aumenta col progredire del processo di maturazione. Sempre con la polpa in bocca, vengono valutati in successione la dolcezza, l'acidità, gli aromi erbacei e gli aromi fruttati; questi ultimi possono variare da assente (1) a note di confettura (4) (Fig. 104).



**Figura 104**  
**I parametri dell'analisi sensoriale della polpa**

**Polpa**

**5. Dolcezza della polpa:**

da 1 poco dolce a 4 molto dolce

**6. Acidità della polpa (□□□□ ):**

da 1 poco acido a 4 molto acido

**7. Aromi erbacei della polpa(□□□□ ):**

da 1 assente a 4 molto intenso

**8. Aromi fruttati della polpa:**

da 1 poco intenso a 4 molto intenso 1: assente

2: leggero

3: fruttato intenso

4: confettura

Si passa poi all'esame gustativo della buccia, rimettendo in bocca quelle separate in precedenza e masticandole 15 volte tra i molari. In questa fase è importante che il degustatore si sforzi di applicare sempre la stessa modalità di masticazione, concentrandosi su ritmo, forza, movimento e intervento della lingua. Viene quindi valutata l'attitudine alla triturazione della buccia, che tende ad aumentare con il procedere della maturazione fino all'ottenimento di una poltiglia omogenea.

Il descrittore successivo è rappresentato dall'intensità tannica della buccia, che si valuta spalmando sul palato con la lingua di bucce. La lingua viene quindi fatta passare per 2 volte con forza costante sul palato dal retro della bocca fino alle labbra e, al secondo passaggio, si valuta l'at-

trito, ovvero la difficoltà di scorrimento.

Nel corso della masticazione e dopo aver passato la poltiglia sul palato e sulle guance viene valutata l'acidità della buccia, leggera nelle uve mature e molto forte in quelle acerbe. Si procede quindi a sputare o a deglutire la poltiglia e, considerando la facilità a risalivare e la sensazione di rugosità su palato e labbra, viene valutata l'astringenza della buccia; sempre durante la masticazione e la valutazione degli altri parametri, devono essere valutati gli aromi erbacei e fruttati della buccia (Fig. 105).

### **Figura 105**

**La buccia offre indicazioni importanti sullo stadio di maturazione dell'uva**

## **Aromi della Buccia**

**Durante la masticazione e la valutazione degli altri parametri fare attenzione a:**

### **13. Aromi erbacei della buccia (□□□□):**

**da 1 assenti a 4 molto intensi**

### **14. Aromi fruttati della buccia:**

**da 1 poco intenso a 4 fortemente intenso 1:**

**assente**

**2: leggero**

**3: fruttato intenso**

**4: confettura**

L'ultima parte dell'analisi sensoriale prende in esame i vinaccioli, partendo dalla loro colorazione, che può essere compresa tra bianco o giallo/verde (1) fino a marrone scuro (4). Si prosegue poi mettendo 2 – 3 vinaccioli tra gli incisivi e applicando una pressione crescente, per poi

masticarli fino a ridurli in frammenti; viene valutata così la durezza del vinacciolo, che diventa “crocante” col procedere della maturazione, e l’astringenza, passando la punta della lingua sulla poltiglia e distribuendo la poltiglia sul palato e sulle gengive. L’assaggio dei vinaccioli si conclude prendendo in esame gli aromi dei vinaccioli e la loro intensità tannica, valutata considerando l’attrito che la lingua incontra a scorrere sul palato (Fig. 106).

**Figura 106**  
**I vinaccioli completano il quadro sensoriale**

**Assaggio vinaccioli**

**17. Astringenza dei vinaccioli**

- 1: nessuna astringenza
- 2: astringenza media durante la masticazione
- 3: forte astringenza ad inizio masticazione
- 4: forte astringenza quando si leccano

**Valutazione sintetica**

Viene utilizzata per le valutazioni eseguite ordinariamente in campo. Si basa solamente su 4 parametri, che rappresentano una sintesi dei descrittori illustrati in precedenza, ovvero maturità tecnologica della polpa, maturità aromatica della polpa, maturità della buccia e maturità dei vinaccioli. Anche in questo caso a ciascun parametro viene attribuito un punteggio compreso tra 1 e 4 (Fig. 107).

**Figura 107**

**La visualizzazione del quadro generale di maturità attraverso la scheda sintetica**

**Esempio  
Livelli**

	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>
<b>Maturità tecnologica della polpa</b>				<b>X</b>
<b>Maturità aromatica della polpa</b>			<b>X</b>	
<b>Maturità aromatica della buccia</b>		<b>X</b>		
<b>Maturità dei vinaccioli</b>		<b>X</b>		

La valutazione in campo viene eseguita muovendosi all'interno del vigneto come per un campionamento, e viene ripetuta da 4 a 6 volte a seconda delle dimensioni del vigneto e del grado di variabilità che viene riscontrato. Alla maturità tecnologica della polpa viene attribuito 1 quando si presenta poco zuccherina, acida e aderente alla buccia e ai vinaccioli, e valore 4 quando si presenta dolce, poco acida senza aderenza alla buccia, mentre la maturità aromatica varia da erbaceo (1) a fruttato intenso (4).

La maturità della buccia è compresa tra buccia dura, acida ed erbacea, tipica dell'uva poco matura, e buccia fragile, fruttata, uniformemente colorata, poco o per nulla erbacea e con tannini presenti ma non aggressivi (Fig. 108).

**Figura 108**  
**Livelli di maturità della buccia**

<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>
<b>Buccia dura, acida, erbacea</b>	<b>Buccia abbastanza dura, aromi erbacei, astringenza</b>	<b>Buccia abbastanza fragile, leggermente fruttata con finale erbaceo ed astringente</b>	<b>Buccia fragile, fruttata con colore uniforme, poco o per nulla erbacea, tannini presenti non aggressivi</b>

La valutazione sintetica si chiude considerando la maturità dei vinaccioli, che prevede un valore pari a 1 quando sono ancora verdi e astringenti, fino a giungere al valore 4 se sono di color bruno uniforme, senza tracce verdi, croccanti, poco astringenti, con aromi tostati (Fig.109).

**Figura 109**  
**Livelli di maturità dei vinaccioli**

<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>
<b>Vinaccioli verdi, astringenti quando si leccano</b>	<b>Vinaccioli verdi e bruni, astringenti quando si schiacciano tra i denti, aromi erbacei</b>	<b>Vinaccioli marroni con qualche eventuale traccia verde, abbastanza croccanti, con alcuni aromi tostati</b>	<b>Vinaccioli color bruno scuro, senza tracce verdi, molto croccanti, poco astringenti, aromi tostati e torrefatti</b>

## Conclusioni

In sintesi, la metodica ICV permette di:

- Valutare con un'unica analisi le caratteristiche meccaniche degli acini, l'equilibrio acidico, la potenzialità aromatica, la quantità e la qualità dei polifenoli nonché la rispettiva localizzazione;
- Individuare disequilibri nel grado di maturità delle diverse componenti dell'acino, segnalando situazioni di stress della vite ed aiutando a meglio valutare il momento della vendemmia;
- Quantificare ognuno di questi parametri in una scheda analitica, rendendo comparabili i risultati ottenuti in giorni, periodi ed annate diverse;
- Condensare i risultati dell'analisi in una valutazione sintetica, di facile e pratico uso quotidiano (Fig.110).

**Figura 110**  
**Valori dell'analisi sensoriale dell'uva**

- **Analisi sensoriale = strumento complementare ai controlli di maturità**
- **Facile da mettere in opera, applicabile appena possibile in vigneto (15/20 gg dopo invaiatura)**
- **Definire al meglio gli obiettivi**
  - Per un vino generico: assicurarsi che tutte le parcelle che rientrano nell'assemblaggio abbiano ben raggiunto le esigenze minime di maturazione
  - Per un vino di alta gamma: raggiungere la completa maturazione

Inoltre, applicando la metodologia di analisi sensoriale delle uve in prove sperimentali in vigneto, è stato possibile

definire il peso di alcune pratiche agronomiche sul profilo sensoriale dell'uva: inerbimento, diradamento dei grappoli, etc. Si hanno così indicazioni utili su come operare in vigna per modificare e migliorare le caratteristiche sensoriali dell'uva, sempre in funzione di un obiettivo enologico predefinito. Un'altra delle applicazioni pratiche più interessanti dell'analisi sensoriale delle uve consiste nel contributo che può dare all'organizzazione della vendemmia: utilizzando la tecnica per valutare il potenziale qualitativo delle uve, è possibile definire degli obiettivi di maturità adeguati ad ogni tipologia di vino che si vuole produrre, e quindi impostare il calendario vendemmiale in funzione di questi stessi obiettivi.

Oltre a ciò, l'esperienza acquisita dall'ICV permette anche di tracciare dei profili standard di riferimento per i principali vitigni internazionali, definendo delle esigenze minime e il livello ottimale di maturità. Infine, ma non meno importante, quando è applicata una ventina di giorni dopo l'invasatura questa tecnica di assaggio permette già una efficace selezione dei diversi vigneti in base al loro potenziale qualitativo, consentendo di seguire al meglio le parcelle conformi a un obiettivo di alta gamma.





**Parte quarta**  
**L'interfaccia uva-vino**

## La maturazione fenolica ed aromatica: i polifenoli ed i precursori d'aroma.

di *Fulvio Mattivi*, Università di Trento e Fondazione Edmund Mach

L'argomento previsto per questo seminario è la maturazione fenolica e aromatica. In realtà dovremmo declinarlo al plurale, perché esiste una gamma variabile di livelli di maturità, a seconda dello stile di vino che si vuole produrre. Ed è un concetto che oggi va inserito in una visione più larga, la complessità della maturazione nel contesto dinamico del cambiamento climatico. Che ci sta portando in due scenari divergenti: uno verso un clima più caldo e più secco, l'altro verso un aumento sia di calore che umidità. E con risposte al clima diverse tra varietà rosse e bianche [Shulz, J. Wine Economics, 2016, 11, 1, 181-200].

Chiaramente ci sono innumerevoli modi con i quali questi cambiamenti di temperature vanno a impattare sulle vigne. Uno spostamento ed accorciamento del ciclo della pianta, con maturazione e successivo appassimento più rapidi. Inoltre, temperature più alte solitamente favoriscono i patogeni ed altre avversità. Infine, forse quella che più sta impattando sulla maturazione, è proprio il tempo poco prevedibile con tanti eventi estremi, che aumentano i rischi per chi sceglie di attendere la maturazione ottimale.

Quello che vediamo, ad esempio quest'anno in molte zone con la vendemmia dei bianchi, le uve vengono raccolte in un lasso di tempo molto stretto, perché c'è questa percezione molto forte dei rischi incrementati. Questo seminario ha quindi la finalità di ricordare perché sia impre-

scindibile vendemmiare alla corretta maturazione.

Vendemmiare troppo in anticipo riduce il rischio di compromissione del raccolto, ma con la certezza di ridurre il risultato qualitativo. Infatti, il primo messaggio da portare a casa è questo: tutto quello che c'è di buono nell'uva si forma dall'invaiaatura in poi. Per cui lasciare che l'uva raggiunga la piena maturità è la chiave primaria per fare dei vini di buona qualità. Stiamo rischiando di dimenticarcelo, per la preoccupazione di perdere il raccolto laddove arrivi un uragano o la grandine eccetera. Questo non giustifica la scelta di vendemmiare uve che siano ad uno stato di maturità sub-ottimale. Non è detto che il fatto che stiamo andando verso un riscaldamento climatico debba per forza impattare in maniera drammatica sulla vite. Tutto sommato la vite è una pianta estremamente resistente, come dimostrano alcuni esempi di viticoltura eroica, con risultati qualitativi interessanti su alcuni vini rossi, da uve prodotte in pieno deserto del Negev (Fig. 111).

**Figura 111**

**Il vigneto di Daniel Kish, nel deserto del Negev (<https://www.greenprophet.com/2012/03/climate-change-wine/>)**



Informazioni di grande interesse vengono da recenti studi sulla fisiologia della vite condotte in due zone particolarmente aride, Ramat Negev e Ramon, dal gruppo di Aaron Fait (Ben-Gurion University of the Negev, Israele). In maniera forse sorprendente, le cultivar bianche sembrano avere un notevole grado di resistenza grazie alla combinazione di una fase di maturazione più precoce e più breve, che evita la maggior parte del caldo estivo.

Nel complesso, questi studi condotti in scenari estremi dimostrano che l'ampia capacità genetica della V. vinifera possiede un significativo potenziale e la plasticità per resistere all'aumento della temperatura associato ai cambiamenti climatici [Gashu K et al, *Frontiers in Plant Science*, 2020, Volume 11, Art. 588739].

Quello che preoccupa i produttori però è il timore che i vini come li conosciamo oggi potrebbero scomparire. Cioè, potrebbe essere che un vino di consolidata qualità, tra poche decine di anni potrebbe essere molto diverso da quello che degustiamo oggi. Del resto, è già così. Pensiamo al Nebbiolo, con il nome che ricorda il clima alla raccolta, che si protraeva un tempo fino a novembre, ed ora, ad esempio nell'ultima annata (2020), è anticipata a fine settembre. Il cambiamento è già sotto i nostri occhi.

Per cambiare ed essere pronti ad interpretare i cambiamenti, occorre conoscersi, sapere quali sono i pregi e i punti deboli. Dedichiamo quindi 20 minuti a inquadrare dal punto di vista compositivo come si colloca il Sangiovese nei confronti di altri grandi vini italiani. L'occasione arriva dal progetto D-Wines, coordinato dal prof. Maurizio Ugliano, a cui hanno partecipato sette gruppi di ricerca italiani (Fig. 112). Questo progetto, con lo scopo di investigare la diversità dei vini rossi italiani, ha permesso di effettuare una rigorosa comparazione di un ampio numero

di vini giovani, della vendemmia 2016, su un campione di 110 vini ottenuti da 10 cultivar. Si tratta di partite aziendali, campionate e imbottigliate a primavera 2017, senza il contributo della botte. I vini Sangiovese sono stati campionati sia in Toscana che in Romagna.

In media abbiamo campionato per ciascun vitigno una decina di vini aziendali, sempre comunque vini prodotti da aziende rappresentative del territorio, che lavorano in terreni vocati e selezionate tra le aziende che producono vini di riconosciuta qualità. Quindi non vini “sperimentali” ma vini aziendali che rispecchiano il vitigno, il terroir, il disciplinare di produzione, e le scelte aziendali in vigna e cantina. Li abbiamo campionati direttamente dalla vasca, dopo la fine della fermentazione malolattica, quindi imbottigliati in condizioni identiche, conservati in un ambiente idoneo ed analizzati entro un anno dalla data di vendemmia.

**Figura 112.**

**Il progetto D-Wines ha permesso di effettuare la comparazione di un ampio numero di vini giovani, prodotti in 11 regioni, per evidenziare i tratti peculiari dei diversi vitigni italiani**



Questo studio vuole infatti produrre una fotografia aggiornata sulla produzione vinicola regionale, come si è evoluta sviluppando caratteristiche uniche nel corso dei secoli, fino a creare l'odierna cultura multi-enologica italiana, caratterizzata dalla presenza di 525 Vini d'Origine, tutelati dalla proprietà intellettuale come Denominazione di Origine Controllata e Garantita (DOCG; n = 74), Denominazione di Origine Controllata (DOC; n = 333), o Indicazione Geografica Tipica (IGT; n = 118). Per quanto riguarda le uve utilizzate per la produzione di vino, il Sangiovese è la principale cultivar italiana, con circa 54.000 ettari in tutto il Paese, ed utilizzato per produrre famosi vini italiani, come il Brunello di Montalcino e il Chianti Classico. È presente in ben 12 vini a DOCG, 102 DOC e 99 IGT. Alla luce della sua importanza, per questo vitigno abbiamo considerato due distinte produzioni regionali, della Toscana e della Romagna, in quanto sono i due principali territori in cui si concentra la produzione del Sangiovese in Italia.

Facciamo un primo richiamo sui risultati ottenuti. L'analisi del metaboloma (ossia l'insieme di tutti i composti organici misurabili) sui composti non volatili è stata prodotta con una strumentazione chiamata cromatografia liquida ad alta prestazione, accoppiata ad uno spettrometro di massa ibrido (quadrupolo-tempo di volo) ad alta accuratezza e risoluzione. I composti sono stati ionizzati con una interfaccia elettrospray, operante in modalità positiva (ESI+) oppure negativa (ESI-), producendo due set di dati complementari, perché alcune molecole ionizzano e possono essere osservate solo in una delle due modalità. Con questo approccio, consolidato presso i laboratori di Metabolomica della Fondazione Mach, siamo riusciti ad analizzare circa un migliaio di composti dei vini rossi [Arapitsas

P. et al., *J. Agric. Food Chem.* 2020, 68, 13353–13366]. È stato rilasciato un database pubblico, cosicché il metaboloma di questi vini, sia i dati grezzi che tutti i metadati dello studio, sono pubblicamente disponibili con il numero di accesso MTBLS1443 nel repository MetaboLights (<http://www.ebi.ac.uk/metabolights/>).

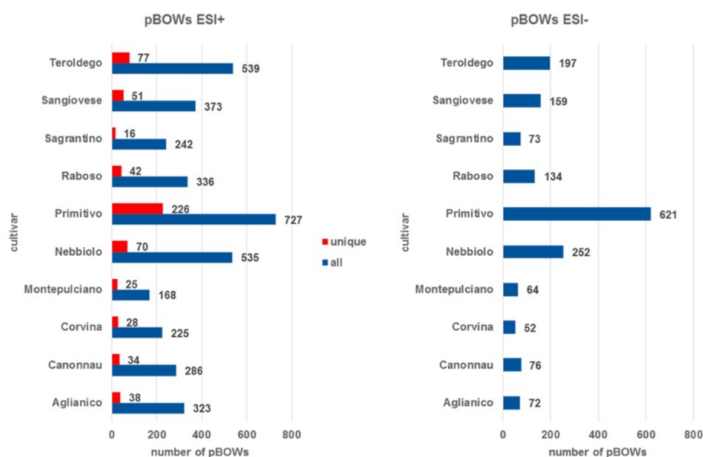
Abbiamo cercato in questo database i marcatori che abbiamo definito possibili biomarcatori dei vini di origine, cioè quei composti che assumono concentrazioni particolari, elevati o bassi, comunque distintive, all'interno dei vini prodotti con un dato vitigno. Nella figura 113 sono riportati in rosso i composti capaci di distinguere un gruppo di vini da tutti gli altri (osservati solo in ESI+).

Il Sangiovese ha una composizione prossima a Nebbiolo, Corvina, Raboso (in ESI+) ed ai vini Nebbiolo e Nerello Mascalese (in ESI-). È emersa una forte somiglianza tra vini Sangiovese prodotti in Toscana e Romagna, confermando quindi il forte effetto del vitigno nel determinare la composizione finale dei vini.

I vini con il metaboloma più prossimo al Sangiovese sono quelli prodotti con le uve Nebbiolo. Il Sangiovese in una delle due modalità con cui è stata fatta l'analisi (ESI+) ha ben 373 composti che aiutano a distinguerlo da tutti gli altri vini di origine, per la presenza a concentrazioni peculiari. E ne ha ben 51 il cui range di concentrazioni è diverso per i vini prodotti con il Sangiovese rispetto a tutti gli altri vini considerati nello studio. Altri 159 composti misurabili in modalità negativa (ESI-) sono utili per la descrizione di questo vino. Una conclusione emersa chiaramente da questo studio è che il Sangiovese è un vitigno fortemente identitario: che sia prodotto in Toscana o in Emilia-Romagna, conferisce al vino un'impronta compositiva caratteristica.

**Figura 113**

**Risultati dell'esplorazione del "metaboloma" dei composti non volatili di 110 vini varietali da 10 varietà, alla ricerca dei composti che siano possibili marcatori dei "vini di origine", putative Biomarkers of Origin Wines, pBOWs. Da Arapitsas P. et al, JAFc 2020, <https://dx.doi.org/10.1021/acs.jafc.0c00879>**



Quindi l'esplorazione del metaboloma suggerisce che, tra i vini prodotti con questi dieci vitigni, quello che più assomiglia complessivamente al Sangiovese è un altro vitigno importante per la qualità: il Nebbiolo.

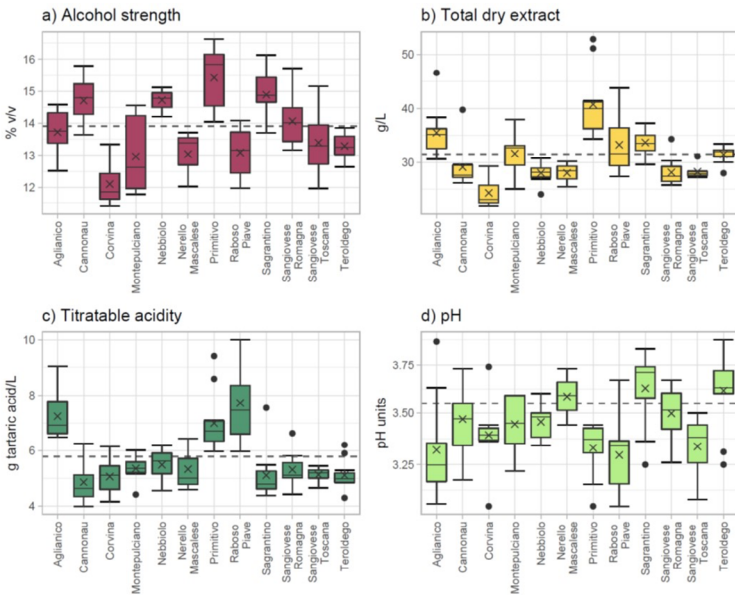
Un'altra parte dello studio D-Wines, coordinata dalle università di Torino e Bologna, ha invece analizzato i principali parametri compositivi oggi utilizzati per il controllo qualità dei vini rossi (Giacosa et al., Food Research International 2021, 143, 110277). Anche per la composizione di base vediamo (Fig. 114) delle differenze molto importanti nella composizione media: per esempio, come grado alcolico abbiamo dei vini come il Primitivo con una media intor-



no ai 15,5% e con diversi campioni che vanno anche molto oltre il 16%. Anche Sagrantino e Cannonau di Sardegna tendono a dare vini estremamente alcolici. Il Sangiovese sia di Toscana che di Romagna tende invece ad essere verso la media dei vini rossi, con il Sangiovese di Toscana ad un grado alcolico leggermente meno elevato. Occorre però fare attenzione perché anche per il Sangiovese si osservano campioni che raggiungono valori del 15% o superiore, con il rischio di andare su valori eccessivi.

Figura 114

Variabilità dei principali parametri compositivi di base dei vini dello studio D-Wines, raggruppati per vitigno. Giacosa S. et al, FRI 2021, <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2021.110277>



Per il resto i vini Sangiovese si pongono su dei valori compositivi non estremi, anche per pH, acidità titolabile ed estratto. Per l'estratto secco in particolare, i vini Sangiovese analizzati si collocano su valori inferiori alla media dei vini rossi, decisamente inferiori rispetto a Primitivo, Aglianico, Sagrantino e Raboso: questo è stato confermato sia per i vini prodotti in Toscana che in Romagna. Per quanto riguarda l'acidità titolabile, anche qua ci sono vini molto ricchi di acidi organici, e con grosse variazioni tra i diversi campioni, ad esempio per Aglianico, Raboso, in parte anche il Primitivo... mentre in questo caso il Sangiovese tende ad avere un'acidità titolabile abbastanza moderata e piuttosto omogenea tra i diversi vini, specie per quelli prodotti in Toscana.

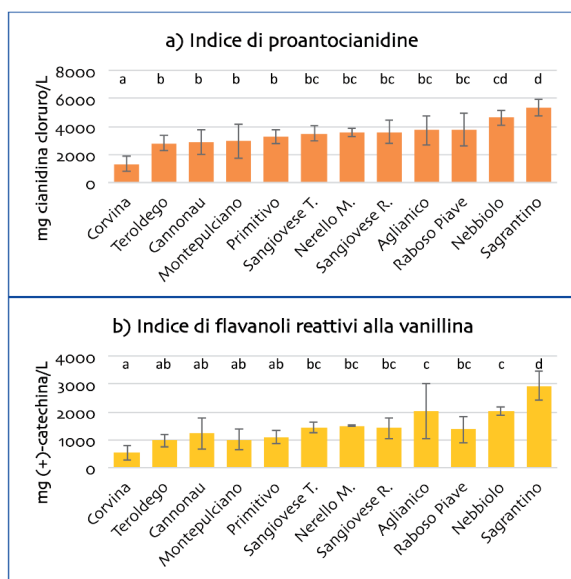
Sempre il Sangiovese di Toscana tende anche ad avere un valore pH medio decisamente basso (3.34), vicino ai valori tipici di Aglianico, Raboso e Primitivo, e con una non trascurabile variabilità. I vini prodotti in Romagna si collocavano ad un pH decisamente più elevato (3.54). Questi risultati sono importanti perché indicano che anche andando sui parametri merceologici più routinari dei vini, ma importanti ai fini della qualità sensoriale, ogni combinazione vitigno territorio si presenta al mercato con prodotti con caratteristiche compositive spesso molto diverse. Naturalmente in questo caso oltre alle caratteristiche peculiari del vitigno e della zona (ad esempio l'elevato contenuto in acidi organici e basso pH del Raboso) giocano anche le scelte dell'enologo nel gestire il livello di maturità in vigna, e le acidità in cantina.

Per quello che riguarda i polifenoli totali, come pure per i diversi indici dei tannini, i vini Sangiovese di Toscana e di Romagna sono su valori intermedi, con una dotazione adeguata [Giacosa et al., OICCE Times - numero 88

- anno XXII - autunno 2021, 15-21]. Ad esempio (Fig. 115), sono ben distinti dai vini Corvina a basso contenuto in tannini, che non a caso sono prodotti da un vitigno eccellente per fare vini molto concentrati come l'Amarone, dopo il tradizionale appassimento.

**Figura 115**

**Variabilità degli indici di proantocianidine e di flavanoli reattivi alla vanillina nei vini dello studio D-Wines, raggruppati per vitigno. Giacosa S. et al, OICCE Times - numero 88 - anno XXII - autunno 2021, 15-21**



I vini Sangiovese sono anche lontani dai vini più dotati in tannini, come Sagrantino, Nebbiolo e in parte anche Raboso ed Aglianico, che tendono ad avere valori estremamente importanti. Riassumendo, i vini Sangiovese si

prestano a produrre vini adatti per l'affinamento e con struttura equilibrata. Prestando attenzione al fatto che i vini Sangiovese presentano un contenuto di antociani sia liberi che combinati piuttosto basso. Un poco più elevati rispetto a Corvina, Nebbiolo e Nerello, per i quali il colore con tonalità specifiche e non molto intenso, è una caratteristica accettata. Ma anche per il Sangiovese, e specie per quello prodotto in Toscana, siamo in quel gruppo di vitigni italiani che di solito non sono particolarmente ricchi di antociani.

Questa composizione in polifenoli determina quindi anche l'intensità colorante, che si presenta simile sia per i vini della Toscana che per i Sangiovese della Romagna, con questi ultimi che mediamente tendono essere un pochino più colorati. In generale il colore del Sangiovese, in particolare quello della Toscana, si caratterizza con un valore di luminosità piuttosto elevato, il che vuol dire che si colloca su valori colorimetrici che corrispondono ad intensità coloranti più chiare, meno intense, abbastanza vicino al limite inferiore desiderabile, rispetto alla maggior parte delle varietà. Questo non è certo una novità, ma va richiamato, semplicemente per ricordare, come chi lavora col Sangiovese ben sa, che l'intensità e stabilità del colore è un obiettivo importante per tutta la lavorazione del Sangiovese, sia in campagna che in cantina.

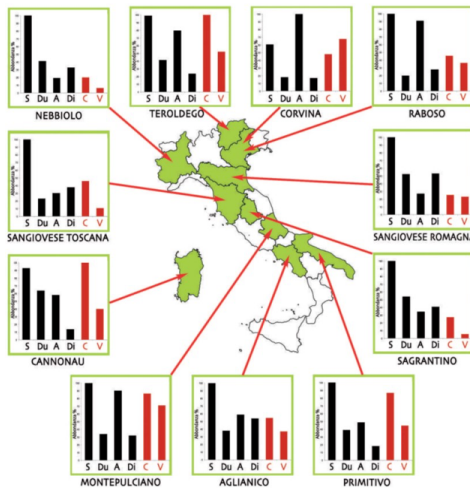
Un altro aspetto interessante che abbiamo avuto modo di verificare nel progetto D-wines è cercare di capire e descrivere quale sia la natura delle note gustative astringenti dei diversi vini [Piombino P. et al, AJGWR 2020, <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/ajgw.12431>]. L'astringenza è una caratteristica fondamentale dei vini rossi, quella che ci permette di definire le basi della diversità gustativa che abbiamo tra i diversi vini. Le complesse

valutazioni sensoriali dei vini sono state fatte presso l'Università di Napoli grazie alla squadra del prof. Luigi Moio, e questa specifica parte del lavoro è stata coordinata dalla prof. Paola Piombino, e confermata da un secondo panel di esperti gestito dalla prof. Giuseppina Parpinello, presso l'Università di Bologna.

Come si legge quindi questo “spettro di astringenza”? I ricercatori hanno posto arbitrariamente come uguale a cento l'intensità della caratteristica dell'astringenza che sembrava dominante, all'interno dei campioni di ciascun vino. Ad esempio, l'astringenza “secca” nei vini Nebbiolo, nel Sangiovese e nel Sagrantino (Fig. 116).

Figura 116

**Spettri di astringenza media sviluppati per le tipologie di vini varietali indagati (nero: sub-qualità relative alle sensazioni di astringenza decisa; rosso: sub-qualità relative alle sensazioni di astringenza morbida). Piombino P. et al, OICCE Times, 83, XXI, estate 2020, 27-33. Legenda delle caratteristiche: S=Secco; Du=Duro; A=Acerbo; Di=Dinamico; C=Complesso; V=Vellutato**



E le altre caratteristiche sono state scalate e messe in istogramma in scala con l'intensità dominante. In questo modo è possibile visualizzare il profilo complessivo dell'astringenza per ciascun tipo di vino. Grazie ad un rigoroso training dei degustatori, è stato possibile elaborare un linguaggio coerente, ed ottenere delle differenze misurabili e ripetibili, impiegando termini descrittivi delle diverse qualità della astringenza: secco, duro, acerbo, dinamico, complesso e vellutato. Per i dettagli rimando alla lettura dei lavori citati che descrive in termini chiari ciascun termine. Ad esempio, per dinamico si intende quel tipo di astringenza che ti porta involontariamente a masticare subito dopo avere degustato un vino, ti obbliga a fare delle operazioni non volontarie, attraverso movimenti della lingua e delle guance, ed attiva la salivazione.

Gli "spettri d'astringenza" sono risultati diversi l'uno dall'altro, con 8 vini dominati dall'astringenza secca (Nebbiolo, Raboso, Sangiovese Romagna e Toscana, Sagrantino, Aglianico, Montepulciano, Primitivo), 2 da quella complessa (Cannonau, Teroldego) e 1 dall'acerba (Corvina).

In campo enologico, con un eccesso di semplificazione, spesso per la descrizione dei tannini si usano impropriamente i termini "vellutato" o "complesso", assumendoli come termini positivi, e all'opposto termini come tannino secco, tannino duro, tannino acerbo o dinamico sono spesso descritte come negative. Ma non è affatto così, facciamo due esempi: i vini Teroldego hanno come caratteristica dominante il tannino complesso, con presenza di elevato tannino vellutato: come atteso in effetti questi vini sono stati graditi dai panel. Invece il Nebbiolo ha tendenzialmente una nota di tannino secco predominante sulle altre, ma chi si sentirebbe di generalizzare che sia una caratteristica negativa? Stiamo parlando di una delle varietà bandiera dei

vini rossi italiani di qualità, fortemente apprezzati anche sui mercati internazionali.

Quindi evitiamo di pensare che si possa parlare di tannini positivi e tannini negativi, a semplificare in questo modo si sbaglia. Come evidenziano molto bene i risultati della Figura 116, ogni varietà ha un equilibrio che deriva dalla coesistenza di queste due caratteristiche, che dipende dalla diversità delle strutture dei tannini e anche dall'equilibrio compositivo tra tutte le caratteristiche compositive.

Il Sangiovese di Toscana ha mediamente una nota dominante di tannini secchi, però accompagnati anche da una presenza importante di quello che viene chiamata il tannino complesso. Il Sangiovese di Romagna era di solito sensorialmente ben distinguibile perché non aveva una nota complessa così elevata, e presentava un impatto significativamente più elevato delle componenti “duro” e “dinamico”.

Una possibile domanda è se queste caratteristiche sensoriali che due distinti panel sensoriali hanno giudicato abbastanza simili, se questo spettro di astringenza caratteristico che il Sangiovese esprime nei due territori, possano essere causate dalla presenza di tannino “varietale”. La risposta è decisamente sì: la caratteristica del tannino dei vini rossi dipende strettamente dal vitigno utilizzato. Riassumendo al massimo, ogni vitigno sintetizza nell'uva e trasferisce poi al vino sia quantità come anche qualità diverse dei tannini, come dimostrato dallo studio della composizione dei tannini tramite reazione di depolimerizzazione per floroglucinolisi, anche questo realizzato nel progetto D-Wines [Arapitsas et al, Beverages, in preparazione]. Si tratta di una reazione che permette di convertire i tannini complessi nei flavanoli monomeri da cui sono costituiti, distinguendo le unità terminali da quelle superiori.

Riguardo in particolare ai vini Sangiovese prodotti nelle due regioni, si è osservato che hanno una composizione media tra loro molto simile, e ben distinta da quella degli altri vini in studio. Il parametro che caratterizza il Sangiovese, rispetto agli altri vini rossi italiani, è la dimensione media dei tannini, che risulta piuttosto elevata, con un valore di grado medio di polimerizzazione (mDP), per il Sangiovese romagnolo di 13,3 e il Sangiovese toscano di 12,1, che è superiore al grado medio riscontrato in tutti i vini dello studio, tranne il Nebbiolo. Corrisponde a strutture piuttosto grandi, con peso molecolare medio indicativamente nell'intervallo 3670-3850 Dalton. Inoltre, il Sangiovese di entrambe le regioni presentava quantità medie quasi identiche di catechina libera (Sangiovese di Romagna: 15,6 mg/L, Sangiovese di Toscana: 16,8 mg/L) e di epicatechina libera (Sangiovese di Romagna: 15,6 mg/L, Sangiovese di Toscana: 15,9 mg/L). La principale unità superiore di cui sono costituiti i tannini del Sangiovese, è l'epicatechina (con circa il 62%), mentre la principale unità terminale è la catechina (circa il 50%), seguita da epicatechina (circa il 32%). I vini Sangiovese presentano inoltre una percentuale maggiore di flavanoli triidrossilati all'anello B – ossia di prodelfinidine - rispetto alla media dei vini rossi italiani da noi analizzati. Per una comparazione più approfondita con la composizione dei diversi vini italiani, si rimanda ai risultati dello studio citato che al momento in cui andiamo in stampa è diventato disponibile [Arapitsas et al, Beverages, 2022, 8, 76].

Questo fa sì che nella scelta della maturità, il problema è quello – comune a tutte le uve destinate a produrre vini rossi - di avere una buona maturità dei polifenoli e, nel caso del Sangiovese, è associato alla necessità di avere delle quantità di antociani nelle uve che siano adeguate ad ave-



re un vino di sufficiente intensità colorante. Il Sangiovese, quantomeno nelle zone dove oggi è più coltivato in Italia, non è un vitigno sul quale sia necessario andare a fare delle misure frequenti per scegliere la data di vendemmia, perché finora ha mostrato una certa resilienza, e tutto sommato non è a mio avviso così probabile che vada incontro ad un crollo delle concentrazioni in caso di sovraturazione od esposizione a condizioni estreme. Non è però affatto assicurato che questo si confermi per altre zone del mondo (California, Argentina, Sudafrica, South Australia) dove viene coltivato, e con i cambiamenti climatici ed il prevedibile aggravarsi della emergenza idrica.

Il quadro complessivo dello sviluppo della bacca è quello che avete visto sicuramente su qualsiasi testo di viticoltura: un aumento molto rapido del volume nella prima fase che segue l'allegagione, seguito da una seconda fase di accrescimento più lento fino alla invaiatura, ed infine la terza fase, quella della maturazione, con una crescita della bacca fino alla piena maturità, seguita da una fase finale di stasi o di perdita di peso per appassimento durante la sovraturazione. Un aspetto però sul quale vogliamo focalizzarci e che la scelta della data di vendemmia in termini di maturità è molto relativa, perché ogni bacca sembra svilupparsi indipendentemente, come ben mostra la Figura 117. Se la fioritura avviene con tempo asciutto, soleggiato e favorevole, ci sarà una maggiore omogeneità ma capita sempre di più, causa il cambiamento climatico, di avere a che fare con ripresa vegetativa e fioriture precoci, abbinate a frequenti ritorni di gelo, allora tendiamo a vedere una indipendenza della bacca dentro lo stesso grappolo che può essere tranquillamente di un paio di settimane, come nella foto (Fig. 117).

**Figura 117**

**Variabilità di maturazione delle singole bacche. Nell'esempio, Inva-  
iatura Nermantis, Valsugana, 22 agosto 2021**



Il contenuto zuccherino nelle bacche è solitamente compreso tra 18-25% peso/peso, ma la deviazione standard tra le bacche in un vigneto e persino all'interno di uno stesso grappolo è spesso  $\pm 2\%$  peso/peso probabilmente dovuta a una serie di date di fioritura e successive date di allegagione variabili per bacche individuali. Questo comporta che anche limitandosi alla sola maturazione zuccherina, si deve considerare un certo grado di incertezza nel definire con precisione quale sia il momento giusto per la vendemmia.

La scelta della data di vendemmia spesso si basa, oltre che sulla sanità delle uve, sul raggiungimento di un adeguato contenuto in zuccheri, che determina il contenuto potenziale di etanolo che può essere raggiunto e spesso anche il pagamento delle uve. Per molti stili di vini, in particolare per la produzione di vini bianchi e spumanti, è di

fondamentale importanza avere anche un importante contenuto di acidi alla raccolta, e quindi si pone attenzione anche alla maturazione acidica. Ma per i vini rossi come nel caso del Sangiovese, l'attenzione si sposta sul completamento dell'accumulo nella bacca dei precursori di aroma (maturità aromatica) e sul raggiungimento di un contenuto equilibrato di polifenoli (maturità fenolica), oltre che su una perfetta lignificazione dei vinaccioli.

L'uva da vino è in grado di avere, come gran parte delle altre piante da frutto coltivate, una estrema variabilità nella composizione in metaboliti primari (zuccheri, acidi organici, amminoacidi, etc), che sono studiati fin dagli albori dell'enologia e tutt'ora di importanza tecnologica essenziale. Ma si diversifica soprattutto nella capacità di produrre un numero sorprendente di metaboliti secondari di impatto sensoriale. Questa biodiversità espressa nella composizione del frutto è essenziale per permettere di produrre una ampia gamma di vini con proprietà sensoriali distinte, sfruttando la capacità di ciascuna cultivar se posta nell'ambiente idoneo di sviluppare composti importanti per la qualità del vino. È esattamente questo il motivo per cui il vino, che è una spremuta di frutta fermentata ad opera di lieviti e batteri, senza aggiunte di sostanze aromatiche, a parte quelle cedute dal legno, presenta una gamma diversificata di sapori e soprattutto di aromi, che non si riscontra in nessun altro prodotto.

Per quanto attiene alla maturità zuccherina, esistono dei modelli che permettono di prevedere il grado zuccherino stimato nelle uve in relazione con i parametri ambientali che governano la crescita vegetativa. Purtroppo, sono state osservate differenze anche di oltre 50 giorni tra un'annata e l'altra nei casi più estremi, difficilmente prevedibili con precisione. Quindi i modelli di previsione devono essere

abbinati con delle misurazioni sull'uva, in modo da costruire anche delle serie storiche di analisi prevendemmiali.

L'altra classe di composti che variano la loro concentrazione in modo massiccio durante la maturazione, sono gli acidi organici. Di solito alla raccolta ne abbiamo dieci grammi ed oltre per chilo di uva. Attenzione, non stiamo parlando del valore della acidità titolabile, ma della concentrazione di acidi organici. Una grossa parte degli acidi organici è in forma salificata. Continuo a pensare che dopo la maturità zuccherina, quella acidica sia altrettanto importante. Perché dobbiamo ricordarci che il vino è una bevanda acida, con un'alta concentrazione di acidi organici che fanno da soluzione tampone. Le sensazioni di freschezza gustativa, l'acidità persistente e la serbevolezza sono legate proprio alla presenza in elevate concentrazioni degli acidi organici e dei loro sali. Quindi, la struttura acidica è una caratteristica qualitativa essenziale dei vini: è un assunto scontato per i vini bianchi, ma non è da meno per i vini rossi. Malico e tartarico si accumulano soprattutto prima dell'invaiaatura, e la successiva rimozione è dovuta alla respirazione -specie per l'acido malico- sia all'espansione delle bacche, quindi è anche un effetto diluizione, non solo un effetto di consumo. La degradazione dell'acido malico è più spinta a temperature più elevate, quindi all'alzarsi delle temperature durante la fase di maturazione, corrisponde una diminuzione dell'acido malico. Questo spiega perché tradizionalmente le aggiunte acide sono fatte nelle zone calde, e con il cambiamento climatico, l'acido malico sarà quello modificato maggiormente. La diminuzione di acido malico può essere un problema, in parte gestibile con le operazioni in vigna, ed anche in cantina. Oltre le scontate, ma importanti, operazioni ammesse di acidificazione, la ricerca in Enologia sta suggerendo l'utilizzo di lieviti

non-Saccharomyces, che sono capaci di sintetizzare anche quantità molto importanti di acido lattico. L'introduzione nella fase di fermentazione di lieviti non Saccharomyces, che dal glucosio producono acido lattico, può essere una soluzione interessante perché va nella direzione di diminuire la resa in alcol e ricostituire l'acidità complessiva.

Un terzo aspetto compositivo di rilievo delle uve è la presenza degli aminoacidi e dell'ammonio, la cui concentrazione, oltre che per la maturità, può cambiare in maniera importante a seconda del suolo, della fertilizzazione, della gestione complessiva della vigna. Con un *range* che spazia da un contenuto in aminoacidi di 300 mg per litro di mosto fino a più di 5 g/L. In termini di azoto disponibile per la fermentazione si va da 40 mg/L, insufficiente per condurre una fermentazione alcolica regolare, fino a 700 mg/L, ossia più del doppio dei livelli ottimale. Anche questo è un aspetto importante da considerare per avere delle fermentazioni equilibrate. Carenze possono essere corrette agevolmente in cantina, mentre gli eccessi (legati ad errori in vigna) possono portare a degli andamenti fermentativi indesiderati, e produrre dei vini con un residuo di azoto assimilabile importante, particolarmente instabili dal punto di vista microbiologico. La maturazione dal punto di vista della disponibilità di azoto va monitorata su ogni vigneto e la dotazione di azoto assimilabile delle uve può essere integrata in cantina per condurre la fermentazione alcolica, potendo utilizzare fosfato di ammonio, azoto amminoacidico, altro azoto organico, tra cui gli estratti di lievito: è una scelta importante da valutare in base alla composizione delle uve e alle necessità della fermentazione. È parametro più critico per le vinificazioni in bianco, dato che le vinificazioni con macerazione possono contare sull'apporto di azoto anche dalle parti solide.

Fino qui abbiamo richiamato i parametri usuali, su cui l'enologo dispone di strumenti di misura accessibili ed esperienza consolidata.

Per tutti gli altri composti, il punto centrale da tenere presente è che la concentrazione di glucosio e fruttosio è molto bassa fino all'invasatura. E tutti i composti la cui sintesi nella bacca è a valle della maturità zuccherina sono concatenati a questa. È per questo che negli ultimi decenni si tende ad aspettare la piena maturità, raccogliendo spesso in date successive alla semplice maturità acidica e zuccherina. Anche se questo comporta andare verso un grado alcolico tendenzialmente ancora più elevato.

Tra i composti desiderabili nelle uve a piena maturazione vi sono i polisaccaridi, dei carboidrati polimerici che sono costituenti delle pareti cellulari. Durante la vinificazione, per l'idrolisi delle pectine, si vanno a creare dei composti che persistono nei vini, come l'acido galatturonico, che può essere presente nei vini per circa mezzo grammo, e fino ad 1 g/L. I polisaccaridi che vanno a contribuire alla struttura colloidale dei vini sono a loro volta dei polimeri estremamente complessi, la cui concentrazione dipende dal grado di maturazione delle uve. Uve più mature tendono ad averne di più e tendono ad essere estratti maggiormente con macerazioni prolungate. È una delle classi di composti a cui viene attribuita la differenza di qualità che si può tenere con macerazioni post-fermentative prolungate, protratte quando l'estrazione dei polifenoli è compensata dall'assorbimento, e quindi non si osservano aumenti della concentrazione di tannini nel vino.

Per avvicinarmi alla fine del seminario, dedicheremo qualche minuto al concetto di maturità aromatica. In generale, una classe importante per le uve è quella degli isoprenoidi, una grande classe di sostanze che includono

monoterpeni, sesquiterpeni e C13-norisoprenoidi, e molti sono importanti aromi nel vino.

La classe più nota è studiata è quella dei monoterpeni (geraniolo, linalolo, nerolo, etc) una frazione dei quali è in forma libera, che spiega il caratteristico aroma floreale delle uve di tipo Moscato. Le quantità di queste sostanze variano ampiamente a seconda della varietà. Ad esempio, le uve della famiglia dei Moscati aromatici ed i Traminer aromatici hanno alti livelli, nel range di 1-6 mg/kg di monoterpeni tra legati e liberi a maturazione. Altre varietà, come Riesling, hanno concentrazioni di soglia (0,05-0,2 mg/kg) e la maggior parte delle varietà cosiddette neutre, tra cui il Sangiovese, hanno livelli troppo bassi per influenzare la percezione sensoriale e sono stati fin qui ritenuti ininfluenti sulla qualità.

Attenzione che la ricerca ci sta però indicando che l'impatto sensoriale dei terpeni può essere importante anche per alcuni vini rossi da invecchiamento. I principali terpeni presenti nei vini in un mezzo acido come il vino si degradano durante l'affinamento creando alfa-terpineolo, attraverso una reazione di idrolisi che porta alla perdita dell'aroma moscato. Ricerche condotte dai ricercatori del gruppo del prof. Maurizio Ugliano all'Università di Verona hanno dimostrato che a sua volta, alfa-terpineolo è un precursore di alcuni composti di grande interesse, come 1,8-cineolo, un composto con note intense e piacevoli, fresche, balsamiche che ricorda l'eucalipto. Per chi ha una certa età, richiama le note dell'aroma dell'unguento Vicks Vaporub. Un altro composto che si può formare, attraverso l'intermedio terpinen-1-olo è l'1,4-cineolo, anch'esso caratterizzato da note fresche balsamiche-mentolate. Nello studio D-Wines, quest'ultimo è risultato molto importante in particolare per i vini Montepulciano d'Abruzzo [Slaghenaufi et

al., Macrowine 2021]. L'aspetto nuovo ed interessante è che mentre i monoterpeni hanno una soglia di percezione nell'ordine di 100 microgrammi/litro, e quindi sono da sempre stati ritenuti non importanti per i vini cosiddetti "neutri" in cui non raggiungono le concentrazioni per essere percepiti, i due isomeri del cineolo prodotti durante l'invecchiamento hanno una soglia sensoriale di molto inferiore, di circa 2 microgrammi/litro. Quindi questo vuol dire che la piccola quantità di terpeni presenti nei vini rossi neutri, che non contribuiscono all'aroma, possono portare durante l'invecchiamento a nuovi aromi molto più potenti, con note olfattive fresche-balsamiche.

Questo meccanismo è stato verificato molto bene nel caso dell'Amarone e stanno uscendo i primi lavori che riportano questa evoluzione anche in vini portoghesi. La sintesi ed accumulo significativo degli isoprenoidi comincia indicativamente circa quattro settimane dopo l'invaia-tura e prosegue fino a maturità. Quindi la formazione dei monoterpeni, aspetto finora non considerato per le uve rosse da invecchiamento, richiede che le uve arrivino ad una piena maturazione.

Ricerche recenti hanno quantificato la presenza di questi monoterpeni (linalolo, geraniolo, nerolo, alfa-terpineolo), che sono contenuti in forma legata complessivamente per diverse decine di microgrammi/kg nelle uve Sangiovese coltivate in Toscana. La loro sintesi è promossa da applicazioni del fitormone metil-jasmonato [D'Onofrio C. et al., Food Chemistry 2018, 242, 352–361] e la loro presenza è stata confermata anche in forma libera nei corrispondenti vini. Non ci sono ad oggi dati a mia conoscenza relativi alla loro evoluzione durante l'affinamento del Sangiovese, ma va investigato se sia possibile avere anche in questo vino le condizioni compositive per portare alla formazione



di note balsamiche durante l'invecchiamento. In generale, quando è possibile che la raccolta venga posticipata fino a raggiungere la piena maturità, l'accumulo di monoterpeni nella bacca è favorito, anche perché si può arrivare in quella stagione favorevole per la sintesi di terpeni, con notti fresche e giornate calde, ma non tali da portare la pianta in condizioni di stress.

Infine, uno dei problemi non banali è assicurare ai vini Sangiovese una nota fruttata. In parte, l'espressione del fruttato riceve un contributo dei composti fermentativi. Le note fruttate tendono ad integrarsi e sommarsi, per cui specie per vitigni dove l'intensità può essere critica, dovrebbe aiutare avere una buona concentrazione di esteri etilici. Quindi attenzione al tipo di lieviti, ed alle temperature di fermentazione per ridurre le perdite per trasciamento. Inoltre, un buon governo della fermentazione è importante, per tenere sotto controllo tutti quei fattori che favoriscono l'elevata produzione di alcoli superiori. Quando questi composti si formano in concentrazioni eccessive, fanno da "tampone" riducendo la percezione del fruttato. Ma un contributo significativo nel caso del Sangiovese può venire dalle uve, dalla degradazione dei carotenoidi (principalmente luteina e beta-carotene) con formazione di C13-norisoprenoidi.

I carotenoidi sono più presenti nelle bacche immature, ma quello che è rilevante per l'aroma del vino è la loro degradazione. La degradazione dei carotenoidi nella bacca inizia poco prima dell'invasatura e la formazione dei C13-norisoprenoidi inizia 1-2 settimane dopo l'invasatura, prosegue durante il completamento della degradazione dei carotenoidi e raggiunge il picco in poche settimane. L'accumulo può continuare anche oltre la maturazione commerciale. Non è facilmente misurabile in quanto alcuni

C13-norisoprenoidi – esistono nelle uve e nei vini come glicosidi non volatili. Fra quelli presenti nel Sangiovese vi sono il  $\beta$ -ionone, che pare possa formarsi direttamente nell'uva dalla scissione ossidativa dei carotenoidi, ma sembra presente a basse concentrazioni. Altri aromi importanti per il Sangiovese, in particolare il  $\beta$ -damascenone, sembrano formarsi attraverso intermedi C13-norisoprenoidi non odorosi (un triolo allenico glicosidato), che possono subire riarrangiamenti acido catalizzati che portano alla formazione dell'aroma durante l'affinamento e la conservazione dei vini.

La loro presenza nelle uve destinate alla produzione di vini da affinamento garantisce una dotazione di precursori di aromi primari che possono sostenere le note fruttate nei vini invecchiati. Studi recenti, sempre nel progetto D-Wines hanno osservato una presenza del beta-damascenone nel Sangiovese a livelli medi simili agli altri vini rossi italiani, prossimi a 1 microgrammo/L [Slaghenaufi et al., Macrowine 2021].

L'accumulo del  $\beta$ -damascenone dipende dall'esposizione solare diretta del grappolo, ed ai livelli di disponibilità di azoto e di acqua. L'accumulo del suo precursore nella bacca comincia indicativamente tre settimane dopo l'invaiatura e prosegue fino a maturazione: i precursori si accumulano nella parte finale della maturazione. E a maggior ragione negli acini che maggiormente sono stati raggiunti dalla luce. Quindi uve ben mature sono attese avere livelli di questi composti decisamente più alti che non uve vendemmiate precocemente. Nel caso del Sangiovese che tende ad avere problemi di scottatura, e nell'attuale contesto climatico, si può forse considerare di ritardare alcune operazioni a verde, e lasciare i grappoli più coperti. Ma nella fase finale della maturazione se la stagione lo permette,

avere grappoli ben esposti alla luce può essere favorevole.

Perché è importante avere buone concentrazioni in  $\beta$ -damascenone? Oltre ad avere una nota fruttata gradevole, con un impatto positivo anche da solo, l'aspetto forse più interessante è che già a livello di 2 microgrammi/L, livelli che sono circa il doppio di quelli mediamente presente nel Sangiovese, ma normalmente raggiunti ad esempio per i vini Cannonau prodotti in Sardegna [Slaghenaufi et al., *Macrowine* 2021], funge da promotore dell'aroma. Anche se il degustatore non percepisce l'essenza del damascenone, l'intensità della nota fruttata del vino viene innalzata.

Come si vede da questi esempi finali, accanto alla parte visibile e misurabile della maturazione, che riguarda i metaboliti primari, vi è una parte nascosta e per la quale non sono disponibili analisi pre-vendemmiali, che suggerisce di tenere conto anche di quei composti prodotti dal metabolismo secondario della vite, che sono alla base del raggiungimento della massima qualità.

Le ricerche in corso a livello sia nazionale che internazionale, stanno contribuendo a spiegare alcune delle note aromatiche peculiari dei vini rossi da invecchiamento, più complesse da comprendere rispetto a quelle dei vini giovani. È un filone di ricerca importante a cui sta fornendo un grande contributo anche la ricerca pubblica italiana. Si procede nella direzione di fornire una spiegazione razionale a quelle tendenze di gestione in vigna e in cantina che gli enologi hanno spesso empiricamente già osservato, e che possono così essere razionalizzate ed impostate su basi consolidate.

## Maturità e composizione dell'uva Sangiovese

di *Donato Lanati*, ENOSIS, Fubine (AL)

### **Maturità dell'uva e controlli analitici**

Fino ad alcuni decenni fa l'invasatura dell'uva Sangiovese avveniva da fine luglio ad inizio agosto e la raccolta era effettuata in autunno avanzato. Per tale carattere questa cultivar era inclusa fra quelle a maturazione tardiva. La disponibilità di un tempo così lungo fra l'invasatura e la maturazione e di condizioni climatiche in cui eventuali periodi con temperature elevate erano sia limitati, sia di breve durata, induceva un lento accumulo degli zuccheri, un altrettanto lento incremento del pH e una lenta diminuzione dell'acidità titolabile del mosto e, a livello di bucce, un accumulo dei metaboliti secondari non accompagnato come nel periodo attuale, in cui la raccolta è effettuata nel mese di settembre o, al massimo, ad inizio ottobre, da reazioni di degradazione a carico di questi composti che, a volte, possono prendere il sopravvento su quelle di sintesi.

Inoltre, a causa dei lunghi periodi con temperature elevate che vengono registrati durante il corso della maturazione dell'uva, le reazioni di sintesi dei metaboliti secondari possono essere bloccate o procedere in modo eccessivamente lento, il contenuto in zuccheri può aumentare per disidratazione dell'acino, l'acidità diminuire e il pH aumentare troppo velocemente. Inoltre, la più o meno eccessiva velocità di trasformazione della composizione che

gli acini subiscono, induce problemi che un tempo non erano prevedibili. Da qui la necessità di ricerche sempre più mirate e di controlli analitici che consentano in tempi brevi di conseguire informazioni dettagliate sulla composizione dell'uva. L'insieme delle conoscenze acquisibili per via analitica e sensoriale serve, infine, ad effettuare scelte produttive per il conseguimento di obiettivi qualitativi a cui un tempo era possibile accedere solo attraverso esperienze empiriche ma di lunga o molto lunga durata.

Innanzitutto, si presenta il problema della valutazione del livello di maturità dell'uva, in base al quale viene deciso il momento della raccolta. È questo un problema che il viticoltore si è posto fin dagli albori della coltivazione della vite. È dal livello di maturità dell'uva, infatti, che dipende in misura importante la qualità di un particolare vino in un dato territorio, anche se questo possiede le potenzialità pedoclimatiche idonee all'espressione di caratteri compositivi dell'uva che non possono essere riscontrati altrove.

Già Columella, nel periodo di Nerone, ha affrontato questo problema con i mezzi di cui allora disponevano gli operatori romani, probabilmente invariati dal tempo degli egizi, dei greci e di tutti i popoli che ancor prima hanno praticato la viticoltura e la trasformazione dell'uva in vino.

Sebbene i mezzi che questi popoli possedevano per valutare il livello di maturità dell'uva erano essenzialmente empirici (degustazione, non prima di particolari festività – pratica corrente anche oggi, in certe zone del sud Italia – particolari eventi meteorologici), Columella ha proposto di affidarsi all'osservazione del colore dei semi. Secondo Columella, il momento idoneo alla raccolta dell'uva coinciderebbe con quello in cui i semi assumono una colorazione bruna. Si tratta di una geniale intuizione il cui reale significato può essere compreso solo oggi grazie allo sviluppo

delle conoscenze biochimiche. Sebbene questo criterio sia sempre valido (molto più di tanti altri proposti e adottati successivamente), esso oggi è un po' troppo limitativo per l'enologo (figura professionale responsabile della trasformazione dell'uva in vino), soprattutto nella valutazione del livello di maturità dell'uva idoneo alla produzione di vini bianchi, di vini spumanti, di vini da raccolta tardiva.

Probabilmente, il criterio di Columella resta ancora essenzialmente valido nella valutazione del livello di maturità dell'uva più idoneo alla produzione di vini rossi (di grandi vini rossi), con tutte le limitazioni oggi imposte dal cambiamento climatico in corso (anche nelle zone un tempo più idonee alla produzione di grandi vini rossi con uve di determinate varietà).

A causa di questi nuovi problemi, si impongono oggi per il viticoltore e per l'enologo un livello di conoscenze più elevato e un sistema di controlli che dia informazioni dettagliate sulla composizione dell'uva per una idonea espressione qualitativa a livello di vino. Si è passati così, per la valutazione del livello di maturità dell'uva, da metodi sensoriali a metodi chimico-fisici rapidi ed obiettivi, da utilizzare in vigneto, in cantina o nei laboratori specializzati.

La misura del grado rifrattometrico del succo estraibile dagli acini d'uva in vigneto e in cantina, della densità, dell'acidità titolabile e del pH del mosto in cantina sono esempi dell'importanza che hanno assunto i metodi chimico-fisici nella valutazione del livello di maturità e della qualità macroscopica dell'uva. Questo non implica necessariamente che i metodi sensoriali siano stati abbandonati o abbiano perso la loro validità, ma che si ha la necessità, per l'attuale assetto produttivo, di misure più precise e più obiettive. Come esempio di criterio empirico proposto

per la valutazione della maturità fenolica delle uve destinate alla produzione dei vini rossi vale il criterio proposto da Glories: osservazione del colore ceduto dalla buccia, schiacciata fra l'indice e il pollice di una mano, di un acino d'uva privato della polpa.

Il livello di maturità fenolica dell'uva è proporzionale al colore ceduto dalla buccia, cioè alla capacità degli antociani e dei tannini della buccia di diffondere spontaneamente in fase acquosa. L'applicazione di metodi chimico-fisici per la valutazione della composizione e della qualità dell'uva e del vino è aumentata continuamente nel corso degli ultimi decenni. Si è passati così da metodi spettrofotometrici a metodi cromatografici, alla spettrometria di massa, all'FT-IR, alla risonanza magnetica nucleare (NMR), ecc.

Oggi è possibile trovare anche in cantine di medie dimensioni: spettrofotometri, gascromatografi (GC), gascromatografi accoppiati a spettrometri di massa (GC-MS), apparati per la cromatografia in fase liquida ad alte prestazioni (HPLC) o più complessi UHPLC-MS, FT-IR per la scansione rapida della composizione del mosto e del vino. È prevedibile, inoltre, un ulteriore grande sviluppo delle tecniche analitiche nell'immediato futuro grazie all'impiego di software e di strumentazione sempre più avanzati per la caratterizzazione dei vini di determinati cultivar e territori e per seguire in modo dettagliato l'evoluzione della composizione durante i processi di maturazione e conservazione del vino.

## **Peculiarità delle uve sangiovese**

### **La composizione di base**

La natura degli zuccheri dell'uva Sangiovese non differisce da quella delle altre uve, in quanto queste molecole in

tutte le cultivar sono costituite essenzialmente da glucosio e fruttosio che possono essere determinati nei mosti e nei vini in modo rapido e affidabile con i metodi più disparati (gravimetrici, volumetrici, cromatografici, enzimatici, FT-IR). Le differenze fra l'uva Sangiovese e le altre uve riguardano soprattutto i profili dei metaboliti secondari. Certi metaboliti primari (acidi fissi, sostanze azotate – in particolare amminoacidi, per la loro importanza nel processo fermentativo), tuttavia, per il modo con cui si evolvono durante la maturazione dell'uva e per il loro profilo, possono contribuire a caratterizzare le uve delle diverse cultivar. I metaboliti primari sono determinati prevalentemente per HPLC, metodi enzimatici o FT-IR anche nei laboratori aziendali.

L'importanza di queste molecole per la caratterizzazione della qualità delle uve Sangiovese non è stata adeguatamente compresa ed esse (in particolare acidi fissi) sono state studiate solo per obiettivi tecnologici. I polisaccaridi della polpa e della buccia rappresentano un'altra classe di metaboliti primari (in quanto indispensabili per la vita e le funzioni delle cellule dell'uva) la cui natura è stata studiata più dal punto di vista strutturale meno dell'evoluzione durante la maturazione dell'uva, dell'importanza che essi hanno nei processi enologici e del loro contributo sensoriale.

Non è stata ancora compresa, infatti, la loro influenza sulla percezione dell'astringenza, dell'amaro e, in genere, del sapore e dell'odore del vino. Inoltre, sul profilo varietale di questi metaboliti non sono disponibili lavori esaurienti nella letteratura enologica, salvo casi particolari. Nel caso del Sangiovese, come della maggior parte delle uve e dei vini, tali influenze sono tutte da scoprire. Diverso è il caso del profilo qualitativo e quantitativo dei metaboliti

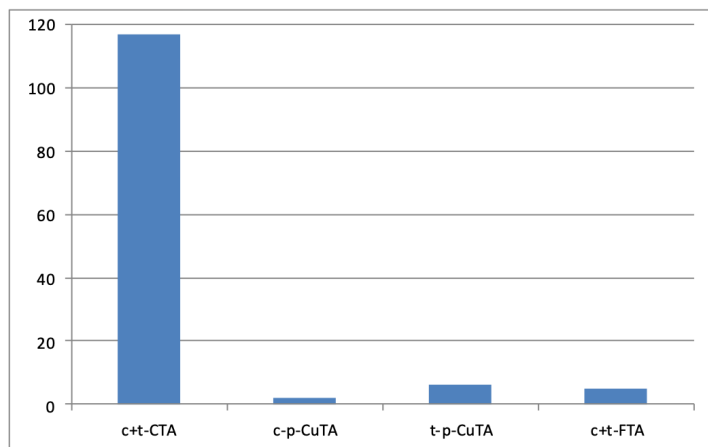


secondari (polifenoli, aromi e precursori d'aroma). Grazie allo sviluppo della strumentazione e delle tecniche analitiche, le conoscenze sul ruolo di queste sostanze nei processi di trasformazione uva-vino e sulla qualità dell'uva e del vino risultano spesso approfondite e continuano a subire sviluppi.

## I composti fenolici

Le conoscenze sulla natura e sul contenuto di questi composti hanno subito un forte incremento negli ultimi decenni grazie allo sviluppo della strumentazione analitica (principalmente HPLC-DAD, HPLC-MS). Come in tutte le varietà, nella polpa dell'uva Sangiovese i composti fenolici sono rappresentati dagli esteri tartarici degli acidi idrossicinnamici (HCTA) con netta prevalenza dell'acido caffeil tartarico (CTA) (Fig. 118).

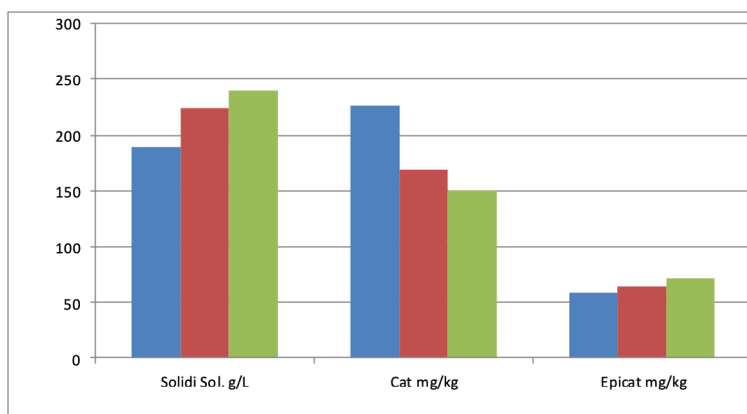
**Figura 118**  
**Esteri tartarici degli acidi idrossicinnamici (HCTA) del succo dell'uva Sangiovese (mg/L)**



Come gli HCTA del succo, i composti fenolici dei semi dell'uva Sangiovese non differiscono da quelli delle uve delle altre varietà; il loro profilo e il loro contenuto sono legati allo stato di maturazione di questo organo (Fig. 119).

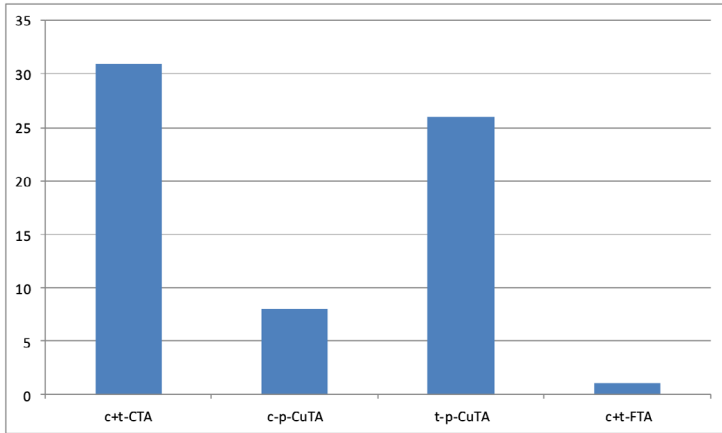
**Fig. 119**

**Evoluzione della (+)-catechina e della (-)-epicatechina dei semi nelle ultime fasi della maturazione dell'uva Sangiovese (mg/kg di acini). Solidi solubili in mg/L di mosto**



Le differenze sostanziali fra i polifenoli delle uve Sangiovese e delle altre cultivar riguardano la buccia. Fra gli HCTA di questa parte dell'acino prevale nel Sangiovese il CTA ma il rapporto CTA/p-CuTA (acido para-cumaril tartarico) si avvicina e può anche superare l'unità (Fig. 120).

**Fig. 120**  
**Esteri tartarici degli acidi idrossicinnamici (HCTA) di bucce di uva Sangiovese (mg/kg di acini)**



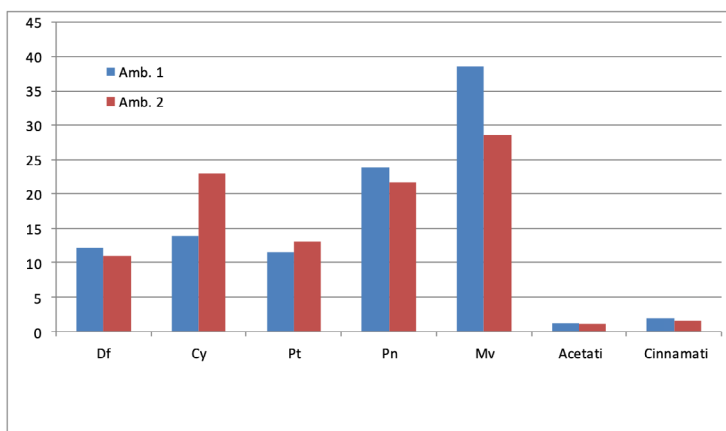
I flavonoli sono rappresentati soprattutto dai glicosidi della quercetina (rapporto quercetina/miricetina sensibilmente maggiore di uno, Tab. 19).

**Tabella 19**  
**Profilo ed evoluzione dei Flavonoli di uva Sangiovese nella fase finale della maturazione (mg/kg).  $\Sigma$ G: glicosidi. Solidi solubili in g/L di mosto**

Solidi solubili g/L	189	225	239,5
Miricetina glucoside	4,8	4,9	10,3
Quercetina glucuronide	41,2	37,5	31,3
Quercetina glucoside	45,5	47,6	51,3
Campferolo $\Sigma$ G	7,6	9,9	7,3

Si tratta di una varietà in cui la sintesi di questi composti è particolarmente favorita (Gambuti et al., 2020). Riguardo al profilo degli antociani, questa varietà costituisce un elemento di transizione fra quelle a prevalenza di molecole trisostituite o disostituite all'anello laterale. Nella buccia dell'uva Sangiovese prevalgono le molecole trisostituite o disostituite a seconda delle condizioni ambientali (Fig. 121).

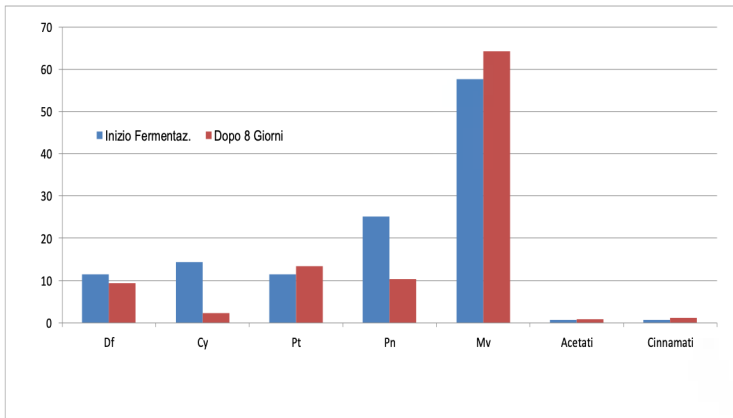
**Figura 121**  
**Differenze nel profilo degli antociani di bucce di uve Sangiovese provenienti da due ambienti diversi (%)**



Ma, di solito, il rapporto molecole trisostituite/disostituite è maggiore di uno. Inoltre, la percentuale delle molecole acilate (soprattutto acetati e p-cumarati) è veramente esigua (circa 2% del totale). A differenza dei vini derivati da uve delle cultivar in cui prevalgono gli antociani trisostituiti, che mantengono sufficientemente invariato il pro-

filo antocianico riscontrato a livello di bucce, nei vini da uve Sangiovese il profilo antocianico è sempre a prevalenza di molecole trisostituite, anche se nelle uve prevalgono le disostituite. Nel vino da uve Sangiovese, infatti, prevale sempre la malvidina-3-glucoside e, rispetto alle uve, diminuiscono sensibilmente le percentuali della peonidina-3-glucoside e, soprattutto, della cianidina-3-glucoside (Fig. 122).

**Figura 122**  
**Variatione nel profilo degli antociani di uve Sangiovese durante la vinificazione (%)**



La diminuzione delle percentuali degli antociani disostituiti avviene soprattutto in fase prefermentativa ma anche, come nel caso raffigurato in figura 122, a fermentazione appena iniziata. In minor misura, anche le percentuali delle altre antocianine non acilate e cinnamate subiscono una diminuzione (Squadrito et al., 2010). Le ragioni della trasformazione che il profilo degli antociani del Sangiovese

subisce soprattutto alla fase prefermentativa sono da imputare all'attacco che questi composti subiscono da parte della forma ossidata dell'acido caffeil tartarico (CTAch, chinone del CTA), originata, a sua volta, dall'attacco delle catecolasi all'acido caffeil tartarico e delle cresolasi e catecolasi all'acido para-cumaril tartarico. Solo gli antociani aventi due gruppi -OH vicinali nell'anello laterale delfinidina, petunidina, cianidina e peonidina, (quest'ultima dopo attacco delle cresolasi) possono essere ossidati, non la malvidina che possiede un solo gruppo -OH fra due -OCH<sub>3</sub>.

La delfinidina e la petunidina si salvano in parte dall'ossidazione in quanto diffondono dalle bucce nel mosto più lentamente, soprattutto quando la fermentazione alcolica è iniziata e la quantità di ossigeno presente nel mosto è diminuita drasticamente ad opera dei lieviti e dello strippaggio da parte della CO<sub>2</sub> originata nel processo fermentativo. Nel corso della conservazione del vino, gli antociani subiscono reazioni di polimerizzazione e di cicloaddizione e, alla fine del processo di maturazione, si trovano prevalentemente sotto forma di flavanil-etiliden-antocianine, flavanil-antocianine e piranoantocianine (vitisine, pinotine e flavanil-pirano antocianine). Il colore del vino da uve Sangiovese evolve verso tonalità rosso-aranciate diversamente da quanto avviene in altri grandi vini da uve a prevalenza di antociani trisostituiti.

Si possono riscontrare analogie fra l'evoluzione del colore dei vini di Sangiovese e di Nebbiolo. Una peculiarità dell'uva Sangiovese su cui si è soffermata solo marginalmente l'attenzione dei ricercatori e degli operatori enologici è la dotazione in tannini estraibili dalla buccia e dai

semi durante la macerazione fermentativa. In particolare, i semi di queste uve sono in grado di cedere elevate quantità di tannini (flavanoli, procianidine): più di altre uve a prevalenza di antociani trisostituiti. A causa della potenzialmente alta quantità in flavanoli monomeri ed oligomeri che i semi dell'uva Sangiovese possono cedere al mosto in fase fermentativa, le reazioni di polimerizzazione delle proantocianidine cedute dalle bucce e dai semi stessi potrebbero procedere troppo lentamente.

Questo implica che il processo di maturazione dei vini di Sangiovese (abbattimento dell'astringenza e formazione di pigmenti dotati di buona stabilità nei riguardi delle reazioni di idrolisi e di ossidazione) possa essere particolarmente lungo. Le ragioni della lentezza con cui potrebbero procedere le reazioni di polimerizzazione dei tannini vanno ricercate nel fatto che al pH del vino le proantocianidine subiscono idrolisi da cui hanno origine una frazione neutra e una frazione con carica positiva che può reagire, a sua volta, o con un antociano sotto forma carbinolo, producendo un pigmento in cui la parte antocianica si trova al termine della catena polimerica, o con un flavanolo dando origine ad un'altra proantocianidina.

La lunghezza della catena di questa proantocianidina dipende sia dalla dimensione della frazione della proantocianidina con carica positiva sia dal flavanolo a cui essa si lega. Più elevato è il contenuto in flavanoli di piccole dimensioni molecolari più elevata è la probabilità che dalla reazione flavanolo con carica positiva-flavanolo abbiano origine proantocianidine di dimensioni molecolari più piccole di quelle che hanno subito idrolisi. L'influenza di questo tipo di composizione e di reazioni sulla stabiliz-

zazione del colore e sull'evoluzione dell'astringenza non sono state ancora comprese e i risultati delle ricerche sono a volte contraddittori.

Un problema che si è presentato già dalla fine del secolo scorso in certi vini da uve Sangiovese riguarda la precipitazione della quercetina aglicone in bottiglia. Si tratta di un precipitato voluminoso, di difficile sedimentazione, che può essere associato a precipitati di altri polifenoli e di sali tartarici. La presenza di tale precipitato non influenza la qualità sensoriale del vino ma rende il vino impresentabile al consumatore. Come sopra ricordato, la quercetina è un flavonolo che è presente nell'uva sotto forma glicosilata (soprattutto glucoside, glucuronide, galattoside). I flavonoli, in particolare la quercetina, che nelle bucce della maggior parte delle uve è il flavonolo più rappresentato, sono sintetizzati dalla vite in risposta ai raggi UV-A. Per questo motivo le parti della vite esposte direttamente ai raggi solari (foglie) ne sono particolarmente ricche.

I flavonoli sono estratti facilmente dalle bucce dell'uva durante la macerazione fermentativa e subiscono già in questo processo reazioni di idrolisi (probabilmente enzimatica in quanto si tratta di reazioni che avvengono in tempi brevi, a differenza di quelle di idrolisi chimica, lente al pH del mosto e del vino).

Gli agliconi prodotti, in particolare la quercetina, malgrado siano molto meno solubili delle forme glicosilate (solubilità della quercetina: 1,64 mg/L a 18 °C in soluzione a pH 3,2 contenente 12% di etanolo, Lanati et al, 2022) si ritrovano nel vino in quantità che possono superare alcune decine di mg/L. Per spiegare questo fenomeno apparentemente contraddittorio, è stato ipotizzato (Lana-



ti et al., 2014) che la quercetina aglicone si possa trovare nel vino non libera ma associata, in complessi denominati complessi di copigmentazione, agli antociani monomeri e ai pigmenti polimeri in cui la parte antocianica si trovi al termine della catena polimerica. Il complesso di copigmentazione (A+Q) è in equilibrio con l'antocianina sotto forma flavilio (A+) e la quercetina aglicone o sotto forma glicosilata (Q).



La quercetina libera che viene determinata nei vini per HPLC in realtà si trova sotto forma legata agli antociani sotto forma flavilio in complessi di copigmentazione che al momento dell'analisi vengono scissi. Grazie alla formazione di questi complessi, una parte degli antociani, che può essere rilevante dal punto di vista quantitativo, si trova nel vino sotto forma flavilio colorata e stabile, anziché carbinolo incolore che va incontro a reazioni di degradazione idrolitica. La frazione degli antociani presente allo stato libero (non copigmentati) all'equilibrio di copigmentazione, può, man mano che i processi di maturazione e di conservazione del vino procedono, subire reazioni di polimerizzazione, di cicloadizione o di idrolisi attraverso la forma carbinolo in equilibrio con la forma flavilio. A causa del coinvolgimento nelle suddette reazioni e della diminuzione della forma flavilio non copigmentata, l'equilibrio (1) si sposta verso destra e dà origine alla quercetina glicosilata o alla quercetina aglicone.

Quest'ultima, superato il limite di solubilità, dovrebbe precipitare. Se sono le forme glicosilate ad essere rilasciate

queste nel tempo subiscono idrolisi generando quercetina aglicone a cui si possono applicare le stesse considerazioni sopra effettuate. Anche se non è stato dimostrato, appare ragionevole ipotizzare, inoltre, che le forme glicosilate della quercetina impegnate in complessi di copigmentazione possano subire nel complesso stesso reazioni di idrolisi e lasciare inalterato il complesso di copigmentazione ma costituito da antociano-quercetina aglicone.

Le esperienze fino ad ora effettuate hanno anche mostrato che nel vino, quando tutti gli antociani in grado di formare complessi di copigmentazione hanno dato origine a pigmenti non copigmentabili, possono permanere alcuni mg/L (circa 3 mg/L) di quercetina aglicone, malgrado la sua solubilità in soluzione idroalcolica a pH 3,20 sia più bassa (Lanati et al., 2022). La ricerca futura dovrà chiarire da quali altre sostanze, presenti anche nei vini bianchi, dipendano le quantità di quercetina superiori alla sua soglia di solubilità di certi vini in cui non è possibile la formazione di complessi di copigmentazione. Il precipitato di quercetina che si osserva in alcuni vini da uve Sangiovese prodotte in zone particolarmente vocate e in vigneti particolarmente curati e ben esposti alla luce del sole è legato a due fattori connessi con le caratteristiche varietali di questa cultivar: tendenza alla sintesi di elevati tenori di flavonoli (in particolare glicosidi della quercetina), tendenza alla sintesi di medio-bassi o medi contenuti in antociani.

A questi fattori si aggiunge la forte diminuzione del contenuto in antociani estratti dalle bucce in fase prefermentativa (come sopra osservato una parte rilevante degli antociani diversi dalla malvidina-3-glucoside subisce ossidazione in fase prefermentativa) e la lenta idrolisi delle

forme glicosilate della quercetina nel tempo e nell'ambiente debolmente acido del vino. La diminuzione del contenuto in antociani e dei pigmenti derivati dagli antociani che possono formare complessi di copigmentazione con la quercetina porta, durante i processi di maturazione e conservazione del vino alla liberazione della quercetina aglicone e alla sua possibile precipitazione.

Nei vini ad elevato contenuto in antociani e pigmenti in cui la parte antocianica è alla fine della catena polimerica è possibile trovare contenuti in quercetina aglicone molto maggiori di quelle dei vini da uve Sangiovese, senza che si riscontrino precipitati di quercetina. In essi le piccole quantità di quercetina libera presente all'equilibrio di copigmentazione potrebbero essere lentamente consumate nei normali processi di degradazione ossidativa tipici dei vini, scongiurando così un accumulo di questa sostanza oltre il limite a cui può esistere allo stato libero nei vini.

Nostre ricerche hanno mostrato che, nelle attuali condizioni climatiche, l'esposizione diretta dei grappoli dell'uva Sangiovese ai raggi del sole ha come conseguenza un maggior accumulo di glicosidi della quercetina nelle bucce degli acini e che, comunque, il contenuto in glicosidi della quercetina dell'uva alla raccolta dipende, oltre che dall'esposizione dei grappoli alla luce diretta del sole, da fattori legati al livello di maturità dell'uva, al microambiente, al portinnesto.

### **I precursori d'aroma glicosilati**

Come appare dalla tabella 20 l'uva Sangiovese presenta un profilo in precursori d'aroma glicosilati caratterizzato da numerose molecole appartenenti alle classi dei

**Tabella 20**

**Composti volatili di uve Sangiovese (1, 2, 3) prodotti per idrolisi enzimatica da precursori glicosilati ( $\mu\text{g}/\text{kg}$ )**

Uve Sangiovese	1	2	3
Benzenoidi ( $\mu\text{g}/\text{kg}$ )			
Benzil alcol	999	862	852
2-Feniletanolo	726	573	507
4-Vinil guaiacolo	118	96	105
4-Vinil fenolo	18	11	17
Zingerone	10	36	22
Siringaldeide	36	27	19
Diidroconiferil Alcol	135	184	151
3,4,5-Trimetossi Fenolo	95	117	111
Terpenoli ( $\mu\text{g}/\text{kg}$ )			
trans-furan Linalol ox.	4,4	3	2
cis-furan Linalol ox.	2,4	2	1
trans-piran Linalol ox.	12	5	5
alfa-Terpineolo	7	5	5
Nerolo	13	17	13
Geraniolo	25	39	22
trans-8-OH-Linalolo	48	118	61
OH-Geraniolo	11	12	12
cis-8-OH-Linalolo	35	54	45
p-Ment-1-ene-7,8-diolo	58	40	68
Norisoprenoidi ( $\mu\text{g}/\text{kg}$ )			
3,4-diidro-3-oxo Actinidolo 1	9	8	5
3,4-diidro-3-oxo Actinidolo 2	25	56	49
3,4-diidro-3-oxo Actinidolo 3	36	38	21
3.idrossi- $\beta$ -Damascone	7,4	8	10
Megastigma-7-ene-3,5-diolo	67	61	49
3-oxo-alfa-Ionolo	186	221	143
3-OH-7,8-diidro-beta-Ionolo	7	7,4	4,4
3-OH-7,8-deidro-beta-Ionolo	14,4	14	14
Vomifoliolo	1273	1463	922

benzenoidi, dei terpenoli e dei norisoprenoidi. Il contenuto della maggior parte di ognuno di questi composti è, tuttavia, troppo basso per poter giocare un ruolo sensoriale importante a livello di vino. Infatti, nell'ipotesi che dall'idrolisi di ognuno dei terpenoli glicosilati riportati in tavola 20 avessero origine quantitativamente le rispettive forme libere, difficilmente queste potrebbero superare la loro soglia olfattiva. Dalla trasformazione di alcune di esse, nell'ambiente acido del vino, hanno origine, tuttavia, composti volatili dalla bassa soglia olfattiva che potrebbero contribuire all'espressione dell'aroma dei vini lungamente conservati. È il caso dei due isomeri dell'8-idrossi linalolo i cui tenori nelle uve Sangiovese sono particolarmente elevati e dalla cui trasformazione deriva, insieme a terpendioli poco volatili, un potente aroma: il Dill etere.

Lo stesso potrebbe valere per le forme glicosilate del geraniolo se dalla loro idrolisi fosse prodotto integralmente geraniolo libero. Fra i glicosidi dei benzenoidi (composti le cui forme libere si distinguono per le note speziate o per originare attraverso reazioni di trasformazione idrolitica o ossidativa note aromatiche che ricordano quelle di certi composti ceduti dal legno) prevale l'alcol benzilico che può essere considerato un precursore della benzaldeide, a cui sono attribuite note aromatiche di ciliegia o di mandorla amara.

Molto più interessante risulta il profilo dei norisoprenoidi fra i quali spiccano le forme glucosilate del 3-oxo-alfa-ionolo e del vomifoliolo. È stato ipotizzato (Slaghenaufer and Ugliano, 2018) che dall'idrolisi del 3-oxo-alfa-ionolo, a livello di vino, abbiano origine i megastigmatrienoni (quattro isomeri di megastigma-4,6,8-trien-3-one, taba-

noni) caratterizzati da note aromatiche di tabacco. Studi futuri dovranno appurare l'importanza di questi composti nei vini Sangiovese. A parte i composti varietali elencati in tavola 20, durante i processi di maturazione e di conservazione dei vini hanno origine numerosi composti eterociclici volatili responsabili di note aromatiche complesse. Essi sono prodotti attraverso reazioni di Maillard da precursori non volatili (glucidi, amminoacidi).

Le differenze fra le note aromatiche che si sviluppano nel tempo nei diversi vini potrebbero essere imputate al diverso contenuto e alla diversa natura dei precursori in essi presenti. Sicuramente la ricerca nei prossimi anni contribuirà a chiarire e risolvere questi problemi.

## Il significato della maturità nella selezione delle uve e nei processi di fermentazione

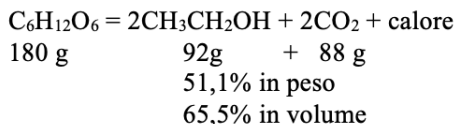
di Prof. *Vincenzo Gerbi*, Università degli Studi di Torino

### L'evoluzione dell'enologia

L'enologia studia il processo di trasformazione dell'uva in vino, quindi occorre riconoscere il ruolo centrale dei microrganismi che svolgono la fermentazione alcolica. Si può quindi affermare che l'enologia, come scienza applicata, nasce con le scoperte di Pasteur e con la pubblicazione del suo primo libro "*Etude sur le vin*", Parigi 1866. I suoi studi sul vino nacquero da un incarico governativo, dato per risolvere il problema della instabilità dei vini francesi, che creava contenziosi commerciali. L'evidenza scientifica dell'esistenza dei microrganismi andava contro il pensiero scientifico corrente, che sosteneva la teoria della generazione spontanea, pur avendo già scritto, Gay-Lussac, 1815, una reazione della fermentazione alcolica che spiegava la formazione di alcol etilico e anidride carbonica dal glucosio, in proporzioni stechiometriche.

Pasteur dimostrò però che la resa di questa trasformazione era più bassa di quella teorica a causa della formazione, da parte dei lieviti, di importanti prodotti secondari, quali il glicerolo, l'acido succinico, l'acido acetico e altri composti secondari in minor misura, che complessivamente rappresentano tra il 5 e il 6% dei prodotti di fermentazione. La resa convenzionale che utilizziamo per stabilire l'alcol potenziale ( $\text{zuccheri}\% \times 0,6$ ) tiene quindi conto dei

prodotti secondari, altrimenti la resa teorica sarebbe di 0,655 applicando l'equazione di Gay-Lussac.



Possiamo considerare come prima fase dell'enologia quella dalla fine del XIX secolo, fino agli anni '50 dello scorso secolo, che aveva come obiettivo l'eliminare i difetti e le alterazioni dei vini, resi instabili da vinificazioni scorrette, che lasciavano residui di zuccheri o acido malico, facile preda di batteri alteranti. La seconda fase dell'enologia ha avuto come obiettivo il migliorare la stabilità e la conservabilità dei vini, favorendone la commercializzazione anche su mercati lontani dal luogo di origine; nello sforzo di ottenere una perfetta stabilità si commisero anche esagerazioni, come l'uso eccessivo di additivi e conservanti o l'eliminazione di componenti potenzialmente instabili, che portarono ad una eccessiva omologazione dei vini.

La terza fase inizia nel 1986, con lo scandalo del metanolo, certo la più clamorosa e disastrosa sofisticazione della storia enologica italiana. La reazione dei produttori onesti, delle loro organizzazioni professionali e delle autorità fu talmente forte da innescare un vero e proprio rinascimento enologico, che coinvolse tutte le regioni viticole italiane. La ricerca italiana accompagnò il rinascimento enologico mettendo al centro dell'attenzione l'uva, la conoscenza dei suoi componenti e il loro destino in vinificazione, avendo come obiettivo il trasferire i componenti nobili dell'uva nel vino e la loro conservazione nel tempo, quindi producendo vini dal forte carattere varietale ed espressione del territorio. I risultati sono stati ottenuti grazie ad un cambiamen-



to profondo nella gestione dei vigneti, orientando tutte le operazioni, dalla potatura, alla gestione della chioma, al diradamento, alla produzione di uva di qualità elevata, oltre che a un miglioramento delle tecniche di vinificazione, sempre più attente a non maltrattare l'uva, evitando la perdita di composti volatili e sostanze fenoliche.

Un esempio eclatante di questo cambiamento è proprio il vino barbera del Piemonte, prima conosciuto come vino popolare, generoso nel colore, ma di alcolicità contenuta e acidità fissa pronunciata, oggi affermato come un vino corposo, dal riconoscibile profilo olfattivo, espressione del territorio, in particolare astigiano, capace anche di invecchiare con successo. Non è quindi per caso che il Piemonte scelse, dopo l'applicazione della legge sulle DOC 164/92, di non adottare l'indicazione IGT per nessun vino della regione, ma di puntare esclusivamente sulle DOC, che rappresentano oggi oltre l'85% della produzione regionale, proprio per aumentare il valore identitario dei propri vini, evitando qualunque tentazione di taglio con produzioni enologiche di altra provenienza.

Un percorso analogo è avvenuto nelle regioni italiane a alta vocazione viticola, come la Toscana, dove le scelte verso una produzione identitaria sono passate dalla conoscenza profonda dell'uva Sangiovese, a cui è stato definitivamente affidato il destino enologico dei territori di più antica tradizione, mentre nei territori di più recente storia viticola si sono affermate anche altre uve di carattere più internazionale.

## **Conoscere l'uva**

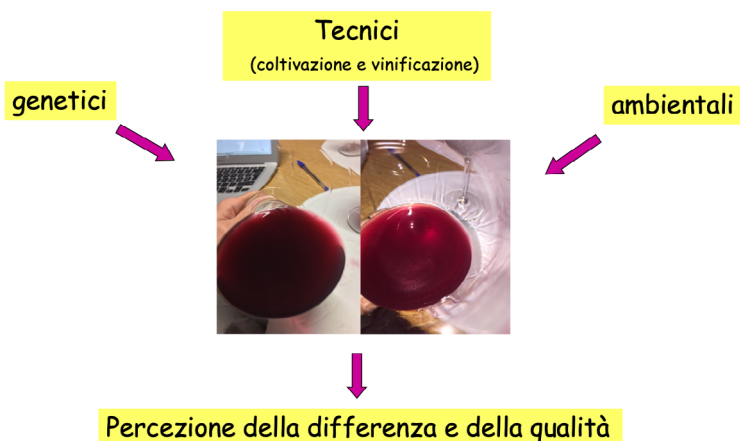
L'aver messo al centro dell'interesse della ricerca enologica la conoscenza dei componenti dell'uva, ha consentito

di comprendere finalmente le ragioni della diversità dei vini italiani, favorendone contemporaneamente il profondo miglioramento tecnico e organolettico. L'uva Sangiovese, oggetto centrale dello studio che state conducendo, in che cosa si differenzia dalla Barbera, o dal Nebbiolo, o dal Montepulciano? Furono proprio gli studi intrapresi in quegli anni a dimostrare come le differenze a livello dei componenti del succo siano modeste, mentre la maggiore differenza sia da cercare nelle componenti fenoliche della buccia e dei vinaccioli, sia dal punto di vista qualitativo che quantitativo. Insieme ai precursori d'aroma, più o meno sempre gli stessi, ma espressi in quantità diversa nelle diverse varietà, la componente fenolica si può definire la vera carta d'identità di ciascun vitigno.

I ricercatori italiani in campo vitivinicolo non hanno ancora oggi concluso di tracciare il profilo fenolico ed aromatico di tutte le varietà di uva da vino coltivate nel nostro Paese, noto per la presenza di una importante biodiversità viticola (oltre cinquecento varietà di vite da vino registrate), ma per le varietà più importanti per la produzione enologica a denominazione di origine sono disponibili un gran numero di studi, che hanno consentito di approfondirne la conoscenza e progettare sistemi di vinificazione adatti a esaltarne le peculiarità. Naturalmente ciascun vino può poi avere una sua personalità derivata dalla combinazione di diversi fattori ambientali e tecnologici, che ne hanno influenzato la nascita e l'evoluzione.

I fattori della diversità sono sostanzialmente tre: la genetica, l'ambiente, la tecnica (di coltivazione e di vinificazione) (Fig. 123).

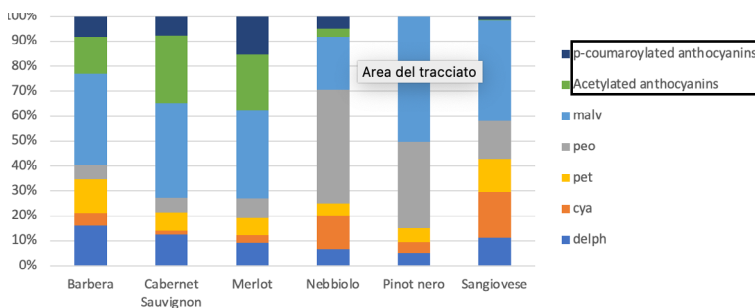
**Figura 123**  
**I fattori della diversità dei vini**



Hanno un peso uguale? Assolutamente no, ma a seconda delle situazioni possono assumere un peso relativo diverso: a parità di ambiente la genetica può influire molto, a parità di ambiente e di genetica la tecnologia può avere un ruolo determinante.

Possiamo però affermare che sulla componente fenolica, fattore fondamentale della diversità dei vini, la genetica ha un ruolo determinante. Nel caso del Sangiovese, ad esempio, il profilo antocianico è caratterizzato dalla assenza di antocianidine cumarate e dalla molto bassa presenza di acilate, cosa che lo rende facilmente distinguibile dalle altre principali uve da vino (Fig. 124).

**Figura 124**  
**Confronto del profilo antocianico di uve da vino**



Il profilo antocianico qualitativamente non cambia, indipendentemente dall'ambiente e dalla tecnica di coltivazione adottata, mentre la concentrazione complessiva degli antociani può essere influenzata dal livello di maturazione raggiunto, determinato a sua volta dal clima e dalle pratiche agronomiche. Allo stesso modo la ripartizione percentuale dei tannini tra bucce e vinaccioli è un fattore genetico, ma il loro livello di polimerizzazione può essere influenzato dal livello di maturazione raggiunto (ambiente e tecnica di coltivazione). Così, a parità di uva, la tecnica di vinificazione può influenzare il livello di estrazione delle sostanze coloranti e tanniche, giocando sulla durata della macerazione, sulla temperatura o sulla intensità dei rimontaggi e delle follature.

La zona dove ci troviamo, terra del Brunello di Montalcino, è forse la più luminosa d'Italia e questa condizione favorisce l'accumulo di metaboliti secondari nell'uva, garantendo una forte caratterizzazione dei vini che ne derivano. Non dobbiamo quindi stupirci delle differenze di valore, anche economico, che i vini possono assumere,

talvolta a parità di territorio, ma con vitigni diversi, o con uguali vitigni, ma in territori diversi.

In figura 125 sono riportati le quotazioni in €/Hl di alcune denominazioni italiane di vini rossi. Naturalmente il prezzo è anche influenzato da questioni di mercato, non sempre spiegate dalle differenze di composizione del vino, ma senza i fondamentali caratteri dei vini, dovuti alla loro composizione, nessuna operazione di valorizzazione sarebbe immaginabile.

Figura 125

Prezzi di alcuni vini rossi DOC e DOCG Italiani. Annata 2019

<b>DO wines</b>	<b>€/Hl</b>
Amarone della Valpolicella DOCG	800
Barbaresco DOCG	510
Barbera d'Alba DOC	210
Barbera d'Asti DOCG	145
Barbera del Monferrato DOC	115
Barolo DOCG	760
Brunello di Montalcino DOCG	<b>1,085</b>
Chianti classico DOCG	283
Dolcetto Alba DOC	140
Etna DOC	178
Grignolino d'Asti DOC	130
Nebbiolo d'Alba DOC	250
Piemonte DOC Barbera	115
Teroldego Rotaliano DOC	195
Trentino merlot DOC	155
Romagna Sangiovese DOCG	102
Valpolicella DOC	234

Un'uva dal destino molto simile a quello del Sangiovese in Toscana è il Nebbiolo, particolarmente presente in Piemonte, ma che costituisce anche la base di vini importanti come quelli della Valtellina o della Valle d'Aosta, tutti accomunati da ambienti montani o prospicienti alla montagna. Anche il Nebbiolo ha un profilo antocianico peculiare, con poche antocianidine cumarate e acilate, ed una percentuale di malvidina ancora più bassa del Sangiovese. Il totale degli antociani è basso (inferiore ai 500mg/Kg di uva), ma con una dotazione di tannini molto alta, fino a 5000 mg/kg di uva, posizionati per l'80% nella buccia e solo per il 20% nei vinaccioli.

Questa situazione richiede alcune precauzioni nella vinificazione, ad esempio limitando il contatto con l'ossigeno nelle prime fasi di vinificazione per non ossidare gli antociani più facilmente ceduti dalle bucce, ma consente, grazie al basso contenuto di tannini a basso livello di polimerizzazione ceduti dai semi, di prolungare la macerazione anche per decine di giorni. Ovviamente la vinificazione delle uve prodotte in Langa, dove le somme termiche sono superiori a quelle dell'alto Piemonte, della Valtellina e della Valle d'Aosta, prevederà qualche diversità tecnologica, ma i vini presenteranno comunque tratti comuni, facilmente riconoscibili e riconducibili ai caratteri varietali, qualunque sia la denominazione di origine del vino.

È necessario ricordare che per arrivare all'attuale confidenza e conoscenza della composizione dell'uva e del vino, sono stati fondamentali i progressi delle tecniche analitiche. Nello studio della componente antocianica delle uve e dei vini, chiave fondamentale per interpretare qualità e diversità dei vini rossi, sono state importanti le

analisi in HPLC, che hanno consentito di disvelare aspetti che non erano conosciuti, o si studiavano con tecniche di separazione approssimative e molto laboriose. Un aspetto decisionale che ancora oggi comporta un certo impegno e un margine di insicurezza per l'enologo, è lo stabilire l'epoca di vendemmia. Proprio alla luce delle nuove conoscenze sui composti caratterizzanti le varietà, a partire dall'inizio di questo secolo è apparso sempre più evidente che, per le uve a bacca nera, il concetto di maturità basato solo sull'accumulo di zuccheri non poteva essere sufficiente a garantire la massima espressione varietale.

Il contenuto di zuccheri, l'acidità titolabile e il pH hanno assunto il significato di maturità tecnologica, ma accanto a questa è stato sviluppato il concetto di maturità fenolica, che meglio esprime le potenzialità dell'uva in termini di capacità di cessione dei componenti fenolici, dalle bucce e dai vinaccioli. La maturità fenolica è espressa dalla concentrazione degli antociani nelle bucce, combinata con il livello dello loro estraibilità, nonché dallo stato di evoluzione dei flavani tannici contenuti nei vinaccioli e nelle bucce (Saint-Cricq et al., 1998)<sup>1</sup>. Il metodo di determinazione proposto da Glories consiste nell'estrarre e valutare la concentrazione delle sostanze fenoliche delle bacche in due diverse condizioni, confrontando poi i dati. La prima condizione operativa simula un'estrazione pressoché totale dell'intero patrimonio fenolico operando ad un pH molto basso (~1.00), che favorisce una degradazione completa della membrana delle cellule.

La seconda condizione simula l'estrazione che si realizza nelle normali condizioni di macerazione operando ad un pH tamponato (3.20), simile a quello di un mo-

sto-vino. La differenza di assorbanza a 520 nm, misurata nelle due condizioni di estrazioni, espressa in % (EA%), indica la percentuale di antociani non estraibili, quindi più il valore è basso, più si può considerare matura l'uva esaminata. Sulle stesse soluzioni di estrazione si determinano anche i polifenoli totali e i flavonoidi totali secondo le espressioni seguenti. L'indice di "maturità cellulare" si calcola con la seguente formula:

$$EA\% = \frac{A1 - A3.2}{A1} \times 100.$$

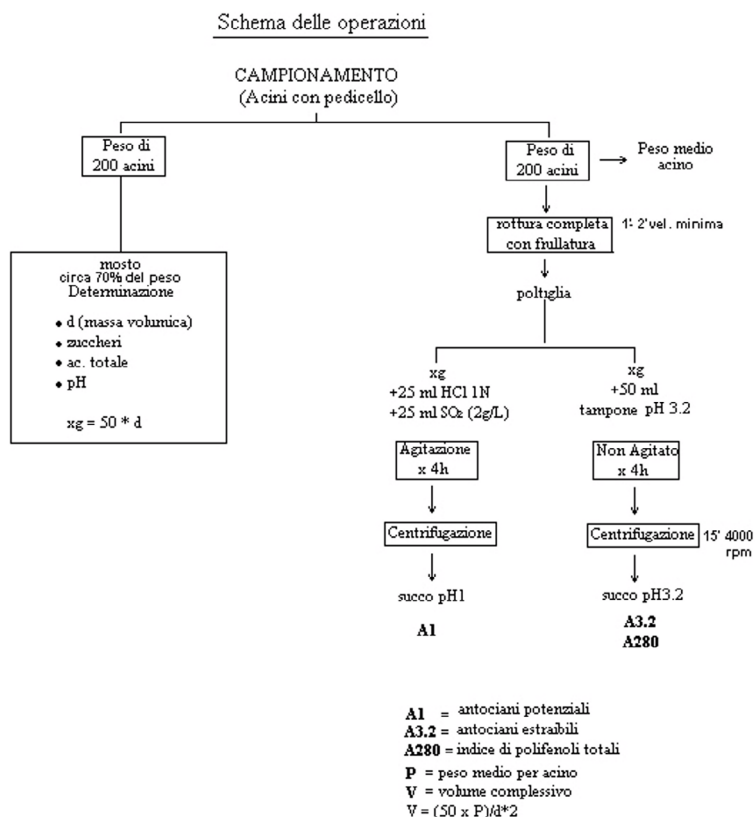
L'indice di "maturità dei vinaccioli" (Mp%) si calcola con la seguente formula:

$$Mp\% = \frac{A280 - ((A1/1000) \times TAR)}{A280} \times 100$$

dove TAR è il rapporto medio tra A280 e Antociani a pH 3.2 in g/L della sole bucce. Quest'ultimo indice viene generalmente valutato considerando un rapporto medio tra tannini (espressi in unità di assorbanza a 280 nm) ed antociani (g/L) delle sole bucce pari a 40. Tale valore è stato stimato su cultivar francesi, quali Merlot e Cabernet, ma può essere esteso anche alle altre uve. Nella figura 126 è riportato lo schema delle operazioni analitiche per la determinazione della maturità fenolica.



**Figura 126**  
**Schema operativo per la determinazione**  
**degli indici di maturità fenolica**



La complessità e la varietà delle sostanze coinvolte, nonché la variabilità di comportamento delle diverse varietà di uva, fa sì che i valori che si ricavano non possano avere un valore di riferimento assoluto, ma siano da usare in riferimento all'andamento della maturazione e ai valori

tipici per una determinata varietà e zona di produzione. Sono quindi una utile guida per la definizione della evoluzione della maturazione e per prevedere le caratteristiche chimico fisiche dei vini ottenibili da esse (Cagnasso et al., 2008)<sup>2</sup>.

I risultati ottenuti in molti anni di esperienza nell'applicazione dei protocolli di maturità fenolica hanno evidenziato l'importanza che le modalità di prelievo del campione d'uva rivestono per la significatività dei dati. Questo a causa dell'elevata eterogeneità nella distribuzione delle sostanze polifenoliche tra i grappoli in diverse posizioni nel vigneto ed anche tra gli acini di uno stesso grappolo.

Molte annate recenti sono state caratterizzate da estati molto calde e scarsa piovosità. Ciò ha determinato mosti con alte concentrazioni di zuccheri, spesso per fenomeni di disidratazione, quindi con gradi alcolici potenziali molto alti, ma con maturità fenoliche non sempre soddisfacenti, a causa del blocco delle attività fisiologiche delle piante. I vini in questi casi hanno anche estratti molto alti, ma non necessariamente accompagnati da buon equilibrio e piacevolezza sensoriale. In condizione di stress i vinaccioli possono non raggiungere una adeguata maturazione (lignificazione) e cedere un eccesso di flavani reattivi alla vanillina, caratterizzati da note amare e astringenti. Si producono quindi vini a elevata gradazione alcolica, a volte eccessiva, ma di qualità sensoriale insoddisfacente per eccesso di tannicità o difficoltà di stabilizzazione del colore.

Per una completa realizzazione di una enologia espressione dell'uva e del territorio, servirebbero quindi metodi rapidi e semplici per determinare le caratteristiche

fenoliche delle uve, così come oggi è possibile farlo per gli zuccheri usando un rifrattometro o un mostimetro. In realtà oggi per conoscere il profilo polifenolico delle uve occorre un campionamento rappresentativo e determinazioni di laboratorio non rapide, né troppo riproducibili. Si stanno proponendo metodi ottici rapidi che consentiranno, probabilmente in futuro molto vicino, di arrivare a determinazioni rapide direttamente in vigneto, ma attualmente non sono ancora completamente affidabili e può essere ancora utile esaminare bucce e vinaccioli visivamente e tattilmente, valutandone il colore e la consistenza. Dei vinaccioli il colore scuro normalmente dimostra una buona lignificazione, così come la durezza, mentre il colore verde e la deformabilità denotano una maturazione incompleta.

Negli anni in cui non si riesce, per ragioni meteorologiche, a raggiungere una adeguata maturazione dei vinaccioli, ovviamente si vendemmierà lo stesso, ma le decisioni dell'enologo in merito alla vinificazione ne terranno conto, limitando il tempo di macerazione o disponendo una tecnica che consenta una parziale svinacciolatura.

Non abbiamo riservato una considerazione all'evoluzione dell'acidità, in particolare dell'acido malico, perché nella produzione dei vini rossi l'acido malico è comunque destinato a sparire per effetto della fermentazione malolattica; quindi, l'obbiettivo della maturazione è che ce ne sia, compatibilmente con i caratteri varietali, il meno possibile.

Diversa ovviamente è l'importanza dell'acidità nel caso dei vini bianchi, il cui equilibrio sensoriale è fortemente influenzato dal livello dell'acidità, mentre non interessa

molto l'evoluzione dei polifenoli che vengono allontanati all'inizio della vinificazione con la pressatura delle vinacce fresche. A proposito dei tannini, uno studio italiano (D wines project) a cui hanno collaborato i principali gruppi di ricerca enologica italiani, ha studiato la componente tannica dei principali vini rossi italiani. Sono stati considerati i vini delle annate 2016 e 2017, ma sono state fatte anche prove di cessione da bucce e vinaccioli di uve fresche, simulando le macerazioni, a pH 3.4, con 5 g/litro di acido tartarico, per 10 giorni, a livelli crescenti di etanolo per capire quale fosse il contributo dei tannini della buccia e dei vinaccioli.

Una osservazione interessante ha riguardato la cessione da parte dei vinaccioli che continua ad aumentare, come atteso, mentre quello delle bucce si esaurisce. Le prove testimoni, macerate solo in acqua, giunte a 4-5 giorni dall'inizio della prova vedono salire il loro contenuto in tannini, anche se non è presente alcol. Evidentemente i tessuti del tegumento rigonfiano ed iniziano a perdere consistenza, anche se la fermentazione, e quindi l'alcol, non sono presenti. Il livello di tannini ha raggiunto il 75% del massimo ottenuto in etanolo, il che conferma l'azione solvente e disidratante dell'alcol, ma questa osservazione mette sotto una luce diversa il tradizionale rapporto tra tannini e lunghezza della macerazione, attribuendo all'alcol un minor peso nell'efficienza dell'estrazione e sulla sua selettività dei tannini.

Questa osservazione rafforza ulteriormente l'importanza del raggiungimento della maturità fenolica alla raccolta nel determinare la qualità del vino. Queste considerazioni sono particolarmente importanti per le uve che

hanno una elevata percentuale di tannini provenienti dai vinaccioli, caratterizzati da peso molecolare più basso ed elevata reattività ed astringenza. Un esempio di questa tipologia di uve è la varietà Freisa, che ha metà dei flavani reattivi alla vanillina provenienti dai vinaccioli: quando non sia stato possibile raggiungere una perfetta maturazione dei vinaccioli, il vino si presenta con una astringenza talvolta eccessiva; una possibile soluzione tecnologica è la svinacciatura, tecnica che consiste nell'allontanare dal fondo del tino di fermentazione i vinaccioli depositati, che sono quelli più pesanti perché immaturi.

Tra il secondo e il terzo giorno di fermentazione, non appena il cappello di vinaccia si solleva, si può procedere a sboccare dal fondo del recipiente i vinaccioli, migliorando nettamente il livello di tannicità del vino. I vinaccioli più maturi e lignificati sono più leggeri e vengono trascinati dalla CO<sub>2</sub> nel cappello di vinaccia. Non è una pratica generalmente necessaria per il Sangiovese perché i vinaccioli contribuiscono solo per il 20-25% ai tannini complessivi, però può capitare l'anno in cui sono particolarmente aggressivi e allora la svinacciatura potrebbe tornare utile.

### **Maturità dell'uva e fermentazione**

Le annate recenti, caratterizzate da estati molto calde, a volte siccitose, hanno determinato un incremento del contenuto in zuccheri del mosto e una riduzione dell'acidità, ma un ulteriore elemento critico è la scarsità di azoto prontamente assimilabile (APA), elemento che può compromettere la fermentescibilità dei mosti. È bene ricordare che nei mosti, nel corso della fermentazione al-

colica tumultuosa, la popolazione di lieviti è al massimo di 108 cellule/ml, a cui si arriva con una fase di crescita più o meno veloce, a seconda che la fermentazione sia spontanea o agevolata con un mosto di avviamento o con lieviti selezionati secchi attivi. Alla fase di crescita logaritmica segue una fase stazionaria con un numero stabile di cellule; quindi, la carica vitale inizia a scendere ed è importante che gli zuccheri del mosto siano fermentati completamente prima del suo azzeramento.

In caso contrario si assiste al cosiddetto “arresto di fermentazione”, normalmente con conseguenze nefaste per i vini di qualità, a causa dell’accumulo nel mezzo di cataboliti (acidi grassi saturi) che possono tossificare il mosto rendendo difficile la ripartenza della fermentazione, anche in presenza di un ulteriore inoculo di lieviti. Inoltre, può crescere la concentrazione di acetaldeide, che conferisce un odore di svanito al mosto non sempre rimediabile. La temperatura generalmente elevata e l’assenza di solforosa molecolare, condizione tipica dei mosti in fermentazione, favorisce però lo sviluppo di popolazioni batteriche eterolattiche, che possono fermentare gli zuccheri residui, producendo acido lattico, acetico e altri prodotti volatili, che possono far assumere al mosto i caratteri dello “spunto lattico”, compromettendo definitivamente la qualità del vino.

Soprattutto nelle attuali condizioni climatiche, con mosti ad alta gradazione alcolica potenziale, è quindi necessario garantirsi una popolazione iniziale di lieviti numerosa e con adeguata energia fermentativa, per questo la nutrizione azotata del lievito è una condizione fondamentale per garantirsi una fermentazione senza problemi.

Il calo dell'acidità, soprattutto di quella malica, è un'altra caratteristica delle annate molto calde, ma l'aspetto preoccupante dal punto di vista del controllo della fermentazione alcolica è legato al possibile aumento del pH. In caso di arresto di fermentazione, un pH  $\geq 3,5$  può favorire lo sviluppo dei batteri lattici con le conseguenze già ricordate. Può essere necessario in questo caso correggere l'acidità già a livello del mosto, per scongiurare il pericolo dello spunto lattico.

Altro aspetto di fondamentale importanza per una perfetta conduzione della fermentazione alcolica è disporre di un mosto di avviamento con elevata carica vivente e ottimamente ossigenato: alla sua preparazione si può giungere utilizzando lieviti selezionati o naturali, l'importante è che sia ben dotato di cellule vitali con adeguata resistenza all'alcol. Certo i lieviti selezionati offrono maggiori garanzie di affidabilità o particolari funzioni metaboliche, come il lievito *Lachancea thermotolerans*, in grado di produrre acido lattico, aumentando l'acidità fissa del vino. Se però, per scelte aziendali, si preferisce fermentare con la popolazione di lieviti spontanea, l'importante è operare in modo da garantire un mosto di avviamento che risponda alle caratteristiche descritte.

Infine, fondamentale è il controllo della temperatura, che non deve superare quella compatibile con l'attività dei lieviti, favorendo allo stesso tempo una adeguata estrazione. Solitamente le fermentazioni per la produzione di vini rossi sono regolate intorno ai 28°C, ma è bene ricordare che la temperatura andrebbe misurata sotto il cappello di vinaccia, punto dove normalmente la temperatura è più elevata per la più intensa attività metabolica e per la dif-

ficoltà di dispersione del calore, causata dalla massa delle vinacce. Per chiudere le considerazioni sui maggiori rischi collegati agli arresti di fermentazione, è utile rammentare che la generalizzata riduzione dei solfiti in vinificazione, se da un lato ha limitato la loro presenza nei vini finiti, dall'altro ha aumentato la carica di batteri nei vini, che diventano pericolosi in presenza di zuccheri residui.

### **Affinamento in legno di vini da uve molto mature**

Il legno offre un grande contributo all'affinamento del vino, ma l'essenza di quello che dal legno ci attendiamo è un contributo alla stabilizzazione del vino, il resto sono effetti collaterali, anche se piuttosto importanti. Infatti, le sensazioni di legno dal punto di vista olfattivo e gustativo sono spesso evidenti, talora eleganti e sinergiche con le caratteristiche del vino, talora non così sinergiche e nemmeno così eleganti.

Gli esperti di storia del vino ci spiegano che i recipienti di legno non sono i primi ad aver incontrato l'uva, la fermentazione e la conservazione del vino, ma prima dovevano essere stati usati manufatti scavati nella pietra o recipienti di terracotta, di cui sono disponibili ancora bellissime testimonianze museali, oltre che utilizzazioni tuttora presenti in alcune zone viticole. Possiamo però affermare che il connubio tra legno e vino dura incontrastato da almeno due millenni, assumendo anche un significato iconico di rappresentazione delle cantine storiche e blasonate.

La sua affermazione nel mondo enologico è stata sicuramente agevolata da considerazioni che oggi definiremmo di "logistica" perché i manufatti di legno sono



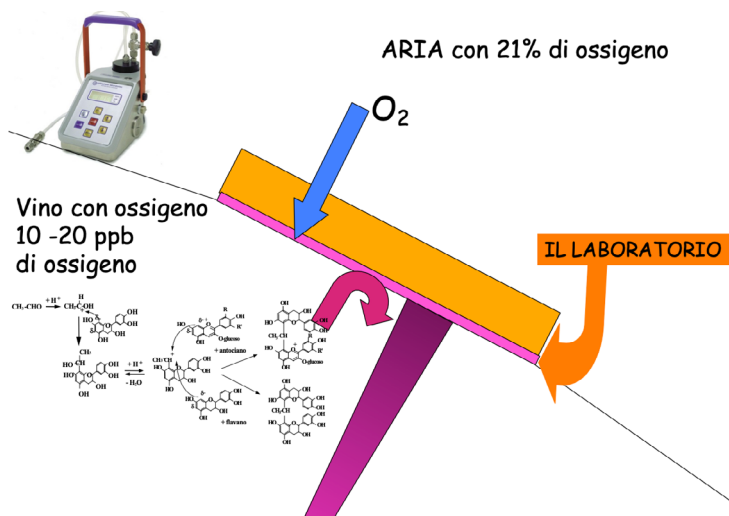
robusti, relativamente leggeri e si prestano, soprattutto quelli più piccoli, ad essere caricati più agevolmente su carri e imbarcazioni, agevolando il commercio del vino. La costruzione di tini, botti, tinozze nelle zone viticole era affidato a livello locale a botteghe artigiane di falegnameria specializzata, che assumevano nomi dialettali diversi e rappresentavano un esempio perfetto di economia circolare, perché sfruttavano spesso essenze disponibili localmente, come castagno e acacia, oggi quasi completamente sostituite dal più performante legno di rovere.

Le conoscenze scientifiche sul ruolo attivo del legno nell'affinamento del vino sono relativamente recenti. Jean Ribéreau Gayon, nella sua tesi di dottorato del 1931, studiò lo scambio di ossigeno tra legno e vino in botti di piccole dimensioni, indicando in 35 mg/L/anno la quantità di ossigeno ceduto al vino dalla botte attraverso le doghe o durante la movimentazione del vino. I mezzi che lui aveva a disposizione per fare le misure erano quelli della chimica analitica di quel tempo, ma le successive ricerche della fine dello scorso secolo, fatte con moderni sistemi di misurazione, hanno sostanzialmente confermato la correttezza di quelle stime, aggiungendo però nuove conoscenze sulla presenza di tannini nel legno e sul loro ruolo come attivi trasportatori di ossigeno.

Il legno, quindi, assume definitivamente il ruolo di recipiente attivo nella conservazione del vino, in grado di offrire quelle condizioni di microossigenazione naturale, e autoregolata, che consentono di agevolare, ad esempio, la combinazione tra antociani e tannini mediata dall'acetaldeide (Fig. 127).

Figura 127

Rappresentazione schematica delle reazioni che avvengono all'interno di una botte, con particolare attenzione alla parte di spessore della doga (laboratorio) impregnata di vino



Inoltre, il suo basso coefficiente di conducibilità termica protegge maggiormente il vino dagli sbalzi di temperatura, rispetto alla conservazione in acciaio.

La comprensione dell'importanza della microossigenazione nella stabilizzazione della componente fenolica dei vini ha prodotto da un lato una spinta alle innovazioni tecnologiche, come gli apparecchi per la microossigenazione dei vini, dall'altro una rivalutazione dei recipienti dotati di una porosità che consenta minimi passaggi di ossigeno (cemento, anfore in terracotta, recipienti in gres ceramico). Per limiti costruttivi e gestionali tali recipienti sono sempre di dimensioni limitate; quindi, adatte

all'affinamento di piccole partite selezionate; non sempre i produttori hanno piena e tangibile dimostrazione della maggiore efficacia di questo tipo di recipienti, mentre toccano con mano la maggiore difficoltà di manutenzione e pulizia, rispetto all'acciaio inox, legata alla porosità delle superfici interne.

La scelta e la lavorazione dei legni per la costruzione delle botti richiede una grande esperienza e il possesso di professionalità ormai ritrovabili in poche aziende molto specializzate. In Italia si contano sulle dita di una mano e lavorano legni selezionati totalmente di provenienza estera (francese o centroeuropea). Per la costruzione di botti di piccole dimensioni (*barriques*, *tonneaux*) il legno è totalmente lavorato a "spacco", mentre per le botti più grande può essere segato, ma con particolari precauzioni (segagione di quarto) per evitare che l'orientamento trasversale rispetto ai raggi midollari favorisca perdite dal recipiente.

La piegatura delle doghe per i piccoli recipienti è generalmente ottenuta previa riscaldamento a fuoco diretto delle doghe già lavorate e semi-assemblate. Le temperature raggiunte sulla superficie interna delle doghe (>200°C), comporta fenomeni di parziale combustione (tostatura), principali responsabili della successiva cessione di componenti volatili al vino (sensazioni di vaniglia e speziate). Tali sensazioni nei vini adeguatamente strutturati si integrano ed esaltano i caratteri varietali. Nel caso di recipienti nuovi, di permanenze eccessivamente lunghe o di vini di debole struttura, le note derivate dalla tostatura possono essere eccessive e sovrastare i caratteri varietali.

Per le botti grandi la piegatura avviene previo riscalda-

mento in acqua calda e successiva messa in forma in appositi stampi (dime). Questo comporta l'assenza di note di tostato, mentre le funzioni di scambio con l'ossigeno permangono. Naturalmente lo spessore delle doghe è decisamente superiore nelle botti grandi (70-80 mm) rispetto alle barriques (27 mm) e questo comporta una velocità di passaggio dell'ossigeno più lenta; quindi, solitamente il soggiorno in legni di maggiori dimensioni comporta tempi più lunghi.

Il legno è un materiale nobile e vivo e può avere interazioni con l'ambiente che lo circonda superiori a quelli di materiali totalmente inerti come l'acciaio inossidabile. Così in ogni momento della sua vita, a partire dal delicato momento della stagionatura iniziale, va protetto dalle contaminazioni ambientali perché è in grado di legare sostanze chimiche, o derivate dalla loro degradazione, cedendole poi al vino che ospiterà. Ad esempio, in fase di stagionatura va assolutamente protetto dal contatto con derivati del cloro, anche in tracce, perché nel soggiorno all'aperto l'azione di muffe potrebbe portare alla formazione di tricloroanisolo (TCA), il contaminante normalmente indicato come causa del "odore di tappo", un difetto molto difficile da correggere e che può condurre al pesante declassamento del vino.

La pulizia dei recipienti di legno dopo che hanno ospitato il vino è un'altra fase molto delicata perché deve rispondere a due esigenze fondamentali: mantenere attiva la superficie interna del recipiente, asportando depositi di bitartrato di potassio e fecce, e garantire l'eliminazione, o quanto meno il drastico abbassamento, della carica di microrganismi contaminanti, come i lieviti del genere *Bretta-*

nomyces, responsabili dell'insorgenza del difetto "brett" (odore di stalla o di sudore di cavallo). A tale proposito va ricordato che il *Brettanomyces* non è un contaminante del legno, ma arriva in botte portato dal vino, dove trova condizioni favorevoli alla sua sopravvivenza, soprattutto se il vino in affinamento ha tracce di zuccheri non fermentati, pH elevati e basse dosi di solforosa libera. Gli effetti organolettici negativi legati alla presenza di questi lieviti sono più evidenti nei vini che hanno una maggiore dotazione di acidi fenolici, dalla cui decarbossilazione e successiva riduzione possono derivare gli etil fenoli responsabili del grave difetto. Ad esempio, i vini derivati dal vitigno Barbera sono particolarmente ricchi di acidi fenolici e predisposti all'insorgenza del difetto "brett".

Come già evidenziato, per le cause già esposte, in tempi recenti la frequenza di vini messi in botte con residui di zuccheri e con bassi livelli di solforosa è notevolmente aumentata, portando ad un netto aumento dell'insorgenza di difetti, o addirittura di alterazioni batteriche. Tale circostanza deve far riflettere gli enologi sull'adozione di buone pratiche che consentano, come già detto, di portare al termine le fermentazioni alcolica e malolattica senza residui di zuccheri.

Fortunatamente anche la tecnologia per il lavaggio dei recipienti in legno ha fatto passi in avanti, proponendo nuove tecnologie di detersione e sanitizzazione che sfruttano l'acqua calda ad alta pressione per l'asportazione dei residui e l'ozonizzazione dell'acqua per la decontaminazione microbica. Una proposta alternativa all'affinamento in legno è quella di utilizzare una microssigenazione diretta nei recipienti grandi di conservazione (esempio

acciaio inox) accoppiandola all'uso di chips, cioè scaglie, pezzetti o polvere di legno, più o meno tostato, simulando l'affinamento in legno. Gli effetti sulla stabilizzazione del colore si ottengono, in effetti, in misura paragonabile a quella del soggiorno in legno, ma gli effetti complessivi sul piano organolettico sono ovviamente diversi, anche se non necessariamente peggiori.

L'aspetto delicato di questa pratica è legato alla difficoltà del controllo della microossigenazione (troppa produce eccesso di acetaldeide, poca non ha effetto stabilizzante), che richiede strumentazioni costose per la determinazione dell'ossigeno disciolto, o continui accertamenti analitici per il monitoraggio dell'acetaldeide, dell'acido acetico e del colore. Il legno invece è autoregolante e ci agevola in questo senso, anche se richiede di tenere alta la guardia per prevenire la comparsa di difetti. Va infine ricordato che in Italia l'uso dei chips di legno è vietato per i vini a denominazione di origine. Tale limitazione appare in effetti un po' illogica, visto che è consentito l'uso di svariati tipi di tannino, anche di legni esotici, come additivi antiossidanti e stabilizzanti.

In chiusura vorrei ricordare che nel presente e nell'immediato futuro ci aspettano nuove sfide e traguardi da raggiungere in enologia: senza rinunciare ai livelli di qualità che la tecnologia moderna ci ha consentito di raggiungere, dovremo occuparci di migliorare la sostenibilità dei nostri processi produttivi, dalla vigna alla cantina, dal punto di vista dei tre pilastri fondamentali della sostenibilità: ambientale, economica e sociale.

**Parte quinta**  
**Il ruolo dell'evoluzione**  
**nel legno**

## La *barrique* come reattore nei processi di evoluzione del sangiovese e l'impiego di materiali succedanei e surrogati

di *Alessandra Biondi Bartolini*, Agronoma e giornalista scientifica

La *barrique*, sia per l'effetto delle cessioni dei costituenti del legno, sia per l'azione degli scambi gassosi che avvengono attraverso la parete porosa del legno è, a tutti gli effetti, quello che possiamo definire un "contenitore attivo". Né il legno né l'ossigeno possono essere considerati fattori puramente additivi alla qualità del vino in quanto entrambi entrano in forte interazione con il vino stesso e tra loro.

Qualcuno ha paragonato una *barrique* a un reattore biochimico (rispetto a una vasca in acciaio che è un semplice contenitore), nel quale lo stato ossidoriduttivo dei vini va incontro a un percorso legato alle cessioni dei tannini ellagici del legno, alle ossidazioni controllate legate all'accesso dell'ossigeno, all'azione riducente delle fecce di lievito eventualmente presenti. Il risultato di quest'azione combinata di fattori diversi è l'evoluzione e la polimerizzazione dei composti fenolici, tannini condensati e antociani, del vino stesso. In linea generale è possibile schematizzare l'effetto a livello sensoriale sul profilo cromatico, aromatico e gustativo dei vini dato dalla cessione delle diverse classi di composti del legno e l'interazione di questo effetto con l'azione dell'ossigeno.

Sul profilo cromatico gli ellagitannini ceduti dal legno come la vescalagina e la castalagina, svolgono un'azione di protezione antiossidante, funzionano da cofattori per i fenomeni di copigmentazione e, se in presenza di ossigeno



fungono da accettori dell'ossigeno per avviare i meccanismi di ossidazione accoppiata che portano alla formazione di pigmenti antociani-tannini stabili e mediati dall'acetaldeide o da altre molecole come ad esempio l'acido piruvico.

Sul profilo aromatico il legno svolge un'azione diretta attraverso la cessione di composti volatili presenti nel legno o di precursori che divengono solo successivamente attivi dal punto di vista olfattivo, a seguito dei fenomeni biochimici che avvengono nel vino. Le note apportate dal legno sono conosciute e sono legate a descrittori come il boisè, la vaniglia, il tostato. Anche la percezione del carattere fruttato può essere influenzata dalla presenza di legno. La maggior espressione dei caratteri fruttati in equilibrio con quelli portati dal legno si ottiene con una contemporanea e corretta gestione delle ossigenazioni (Tab. 21).

**Tabella 21**  
**Cessioni legno/vino percepite sensorialmente**

CARATTERISTICHE SENSORIALI	Sostanze cedute dal Rovere		IN PRESENZA DI OSSIGENO (azione combinata)
	COMPOSTI ATTIVI	AZIONE	
COLORE	Tannini ellagici	Protezione antiossidante, copigmentazione, stabilizzazione	Aumenta l'effetto di stabilizzazione
AROMA	Composti volatili del legno: naturali e derivati dal processo di trasformazione termica	Caratteri Boisè : vaniglia, tostato, speziato	Incrementa la nota fruttato, armonizzazione/integrazione del boisè, equilibrio redox
GUSTO	Tannini ellagici e polisaccaridi	Struttura, intensità tannica, dolcezza, astringenza, amaro	Equilibrio, aument.morbidezza dim. Astringenza e amaro, att.ne alla secchezza dei tannini

Sul profilo gustativo infine sono ancora gli ellagitannini a svolgere la loro azione intervenendo direttamente sulle sensazioni di astringenza e di amaro. L'interazione con l'ossigeno favorisce la strutturazione dei tannini del vino, che in tal modo si evolvono verso forme di maggiore morbidezza gustativa. Il legno infine ha la capacità di rilasciare polisaccaridi la cui azione ha influenza sui caratteri di morbidezza e sull'attenuazione delle sensazioni di astringenza e secchezza dei tannini e di amaro.

Per descrivere il rapporto tra il vino e l'ossigeno è possibile affermare che, se da un lato tutti i vini rossi hanno bisogno di ossigeno in quanto la maturazione stessa è un processo ossidativo, dall'altro tutti i vini sono allo stesso tempo sensibili all'azione non controllata dell'ossigeno, in grado di degradare composti aromatici e antociani e di favorire lo sviluppo dei microrganismi di alterazione.

Gestire l'ossigeno nel vino significa di conseguenza tendere a raggiungere l'equilibrio tra la velocità con la quale questo entra in soluzione nel liquido e quella con la quale viene consumato nei diversi processi dove interviene per modificare la composizione dei vini. Il controllo di questo equilibrio permette di favorire la stabilizzazione del colore attraverso la polimerizzazione di tannini e antociani, regolare la maturazione dei tannini e della sensazione di astringenza, gestire e mascherare i caratteri vegetali, rimuovere e prevenire i caratteri di riduzione.

### **Quanto ossigeno entra nel vino attraverso il legno?**

Nel corso dell'affinamento in barrique l'ossigeno presente nell'aria permea attraverso la porosità della dogia, ma è solo nei pochi millimetri imbibiti di vino del suo spessore, che avvengono gli scambi e le reazioni tra il gas, l'ossi-

geno disciolto nel liquido e i costituenti del vino. L'OTR, Oxygen Transmission Rate è il parametro che descrive l'ingresso di ossigeno attraverso un materiale poroso come il legno. La velocità con la quale questo accesso avviene non è lineare o costante nel tempo ma segue una cinetica che è stata descritta recentemente dal gruppo di ricerca UvaMox dell'Università di Valladolid di Ignacio Nevares e Maria del Alamo Sanza.

I risultati delle prove condotte dagli scienziati spagnoli hanno permesso di definire anzitutto che l'ossigeno entra in contatto con il vino per il 23% attraverso la porosità delle doghe e per il restante 77% dal foro di cocchiume e dagli interstizi tra le doghe nelle barrique di legno francese analizzate (percentuali ripartite al 50% tra le due quote invece nel caso del legno americano). Dalla misura dinamica dell'OTR (*Oxygen Transmission Rate*) si apprende inoltre che la diffusione è massima nel primo periodo dopo il riempimento della barrique (il 37% dell'ossigeno passa nel vino nei primi due mesi), grazie anche a un fenomeno iniziale di desorbimento dell'ossigeno già contenuto nel legno in modo particolare quando questo è asciutto, per andare poi progressivamente a diminuire, con il risultato finale di un apporto complessivo nel corso di un anno di non più di 8-11 mg/L di ossigeno.

La dissoluzione avviene attraverso lo spessore della doga, che funzionando come una membrana semipermeabile, viene attraversata dal gas con una velocità che dipende dallo spessore, la permeabilità del mezzo e la differenza di concentrazione tra la pressione parziale esterna del gas nell'aria e la concentrazione in ossigeno disciolto nel vino. Essendo tuttavia il passaggio molto lento, l'ossigeno non si accumula ma viene consumato nei processi di evoluzione ossidativa nei vini e il gradiente si mantiene.

L'idea di dosare nel vino delle microdosi di ossigeno in modo continuo e costante, tali da non eccedere mai la capacità di consumo del vino e favorendo così un'evoluzione ossidativa controllata dei composti polifenolici, il colore e le sensazioni di astringenza ha portato, a partire dalla fine degli anni 90 del XX secolo, alla nascita e l'evoluzione della tecnica della micro-ossigenazione.

### **Le altre forme del legno: l'uso dei legni alternativi**

I chips e i frammenti di legno sono autorizzati in Europa con riferimento al Reg CE 2165/2005 e Reg 1507/2006 con possibilità per i paesi membri e le DO di applicare eventuali restrizioni, come è poi avvenuto in Italia con il DM 2 novembre 2006 che ne vieta l'utilizzo nei vini VQPRD. Il Reg 606/2009 ne ha esteso l'uso, inizialmente legato alle sole fasi di affinamento, anche alla vinificazione.

I legni alternativi possono essere proposti e scelti in diverse forme, in funzione delle quali variano fundamentalmente la superficie di contatto con il vino e di conseguenza la velocità e l'intensità delle cessioni. Le diverse tipologie risultano più o meno adatte alle varie fasi della produzione o dell'affinamento, nelle quali si necessita di una cessione maggiore o minore di tannini o di sostanze aromatiche.

In linea generale le forme con granulometria più fine come le polveri (che non sono ammesse dalla legislazione europea) e i prodotti granulari, sono più adatte alle fasi di fermentazione o alle prime fasi dell'affinamento, mentre le pezzature più grosse (chips, bricks, sticks e staves) sono adatte alla fermentazione di alcuni vini più leggeri e principalmente a tutte le fasi dell'affinamento. Gli standard e le caratteristiche che devono avere i frammenti di legno sono riportati nelle Risoluzioni OIV Ris OIV/Oeno 3/2005,

Oeno 430/2010, Oeno 406/2011 e indicano sinteticamente che si deve trattare di derivati di legno del genere *Quercus*, privi di segni di combustione e non friabili, non trattati né addizionati di sostanze diverse atte ad aumentarne la capacità aromatizzante o l'estrazione di composti fenolici, di dimensioni superiori ai 2 mm (98%) e che devono essere introdotti nel vino facendo uso di supporti (sacche, reti, buste ecc.) in materiale adatto al contatto con gli alimenti.

L'apporto di ellagitannini che avviene con l'aggiunta dei frammenti di legno, intervenendo nel consumo dell'ossigeno e nelle reazioni di ossidazione, provoca un aumento del "fabbisogno di ossigeno nel vino" ed è soprattutto per questo e per accompagnare i processi di ossidazione controllata che l'utilizzo dei legni alternativi e dei frammenti di legno trova il suo completamento nell'applicazione della micro-ossigenazione.

## Scelta dei legni, loro lavorazione ed influenza sui processi di invecchiamento di un vino rosso

di *Franco Battistuta*, Dipartimento di Scienze Agroalimentari, Ambientali e Animali Università degli studi di Udine  
(Trascrizione a cura di R. Miravalle)

Il settore del legno e delle botti è uno dei lavori più antichi del mondo. Un tempo ogni paese aveva un bottaio, perché i secchi erano di legno, le mastelle per il bucato erano di legno, le attrezzature per la raccolta il trasporto delle uve e la successiva vinificazione erano di legno. Impiegato nei secoli come contenitore dagli anni '80 in poi è diventato un mezzo tecnologico. Nei primi trattati di enologia (poco più di cento anni fa), abbondavano le descrizioni dei guai possibili della conservazione in legno e le raccomandazioni di come evitarle. Il vetro (le damigiane), il cemento, la vetroresina affiancarono e presero il sopravvento sulle grandi botti di legno.

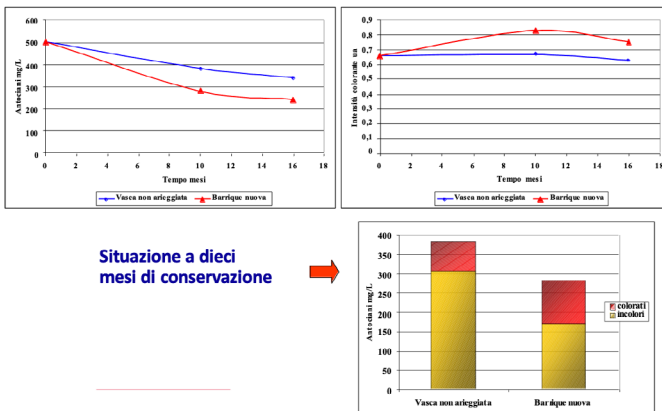
L'arrivo della barrique e nuove conoscenze di chimica enologica oggi ci permettono ora una visione molto diversa circa l'impiego del legno in enologia. Superati rapidamente i primi aspetti critici (vino da falegnameria...) l'impiego di contenitori in legno di ridotte dimensioni ci ha permesso di comprendere e gestire aspetti salienti, quali la cessione aromatica, la stabilizzazione del colore, il potenziale redox. Partiamo dall'inizio: che cosa è la vinificazione?

E la gestione di processi microbiologici, equilibri chimi-

ci, equilibri colloidali. All'interno degli equilibri chimici ci sono gli equilibri redox: la reazione o la protezione dall'ossigeno. A seguire, ma dipendente da questo, la stabilizzazione del colore che dipende dall'ossidazione fenolica - che va a formare acqua ossigenata e a sua volta va a formare acetaldeide - quella molecola che fino a qualche anno fa si connotava di un aspetto negativo, mentre oggi sappiamo che nei vini rossi, quando abbiamo una polimerizzazione mediata da acetaldeide, i colori del vino vanno verso il viola, si nobilitano.

La cessione di sostanze aromatiche, se giustamente dosate, è un fatto positivo. Una cosa assolutamente non considerata in passato è l'assorbimento di sostanze aromatiche: il salto che fa il vino post-fermentazione quando va nel legno, dopo un mese non sembra più vino giovane: molte di queste sostanze o sono state assorbite fisicamente dal legno o si sono legate ad alcuni composti del vino. È interessante considerare l'evoluzione di un vino in una vasca non arieggiata e in una barrique nuova. (Fig. 128)

**Figura128**  
**Effetto della barrique sull'evoluzione del colore di un vino rosso**  
(Ribéreau-Gayon, 1998)

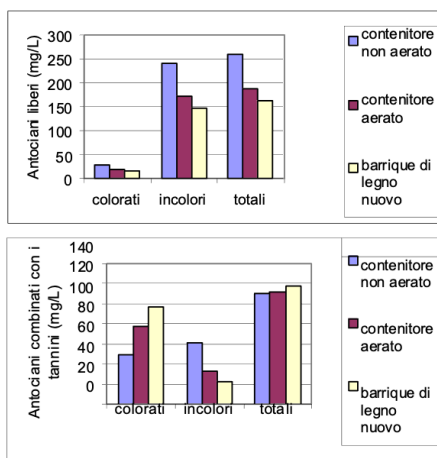


Ciò che importa non è conoscere la quantità di antociani totali, ma soprattutto di quelli colorati. Nella barrique nuova si assiste ad un incremento dell'intensità colorante grazie alla polimerizzazione tra antociani e tannini, mediata da aldeidi. I vasi vinari di legno sono anche i modulatori dell'invecchiamento del vino come contenitori per l'inerzia termica, per la quasi assenza di moti convettivi e di sbalzi termici.

La temperatura di conservazione del vino è un altro parametro critico circa l'affinamento o l'invecchiamento. Come ben descritto da Ribéreau-Gayon (Fig.129). Un Merlot conservato a bassa temperatura dopo dieci mesi mostra un indice di colore superiore conservando una buona tonalità. Ma a 25°C. la tonalità vira verso color matone, La presenza di azoto riduce l'effetto della temperatura, la presenza di ossigeno diventa -al contrario- nefasta.

**Figura 129**  
**Effetto dell'affinamento in barrique sulla qualità del colore di un vino rosso (Ribéreau-Gayon, 1998)**

**Differenti forme di antociani in funzione delle condizioni di conservazione in vini rossi dopo 10 mesi**

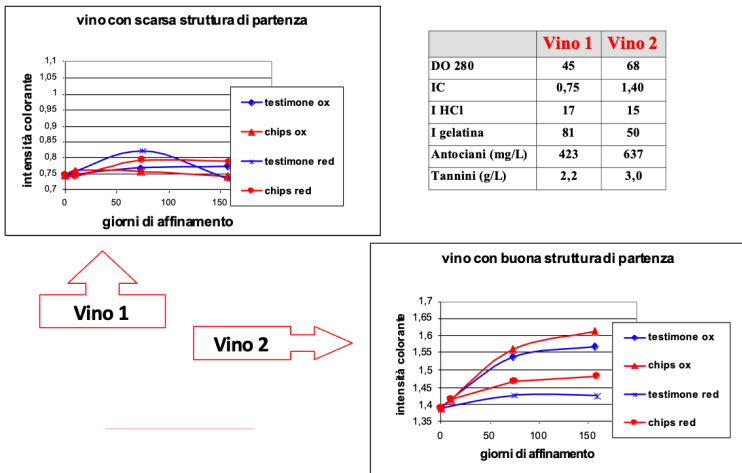




Quindi la temperatura in cantina è fondamentale soprattutto quando noi stiamo curando l'affinamento in legno.

Abbiamo visto nelle precedenti figure come l'ossigeno giochi un ruolo rilevante sia sull'intensità che sulla tonalità colorante. Tuttavia, microossigenazione e legno sono in grado di migliorare un vino di buona struttura, ma possono accelerare l'invecchiamento negativo in vini con scarsa struttura di base (Fig.130).

**Figura 130**  
**Effetto di legno e ossigeno sui vini**








## Uso del legno in enologia

Dagli anni'90 il ritorno dei vasi vinari in legno, delle barriques in particolare, è stato favorito dalla diffusa percezione degli aspetti positivi, quali la tradizione, la cessione aromatica, la sensazione di più rapido e maggior ammorbidimento del vino. Criteri che spesso hanno condotto ad un impiego improprio o esagerato del legno.

Le ragioni enologiche proprie vanno cercate nella gestione del redox-ossigeno, nella gestione delle polimerizzazioni e nella stabilizzazione del colore e nella cessione e assorbimento di sostanze aromatiche (Fig.131).

**Figura 131**  
**Sostanze volatili di interesse sensoriale nel legno di quercia naturale**

**Sostanze volatili nel legno di quercia non tostato**  
(valori min. e max. riscontrati in  $\mu\text{g/g}$  legno in bibliografia)

•Vanillina(tracce- 41 $\mu\text{g/g}$ )		•Eugenolo (0,01- 18 $\mu\text{g/g}$ )	
•cis $\beta$ -metil- $\gamma$ -ottalattone (0,05-159 $\mu\text{g/g}$ )			
•trans $\beta$ -metil- $\gamma$ -ottalattone (0,03-115 $\mu\text{g/g}$ )			
•Furfurale (4- 273 $\mu\text{g/g}$ )		•Esanale (1 $\mu\text{g/g}$ media)	
		•Nonanale (0,21 $\mu\text{g/g}$ media)	

La ricerca dell'influenza positiva sul vino include oltre botti e barriques, anche derivati della lavorazione di queste, quali staves, block, stikcs e chip.

La tostatura e soprattutto la sua intensità è un altro fattore condizionante la cessione di aromi. Queste conoscenze, che portano alla scelta e al bilanciamento delle stesse diventano fattori essenziali del progetto enologico (Fig.132).

Figura 132

**Influenza della tostatura sui composti a forte interesse sensoriale  
(Chatonnet, 1995)**

*media di 3 prelievi effettuati a 1.2 e 3 mm di profondità; estrazione dei costituenti del legno in mezzo idroalcolico. Risultati espressi in % rispetto alla tostatura assente*

Composti	Effetto	Grado di tostatura			
		assente	leggera	media	forte
Ellagitannini	Polimerizzazione	100	80	59	30
Somma aldeidi furaniche	Polimerizzazione?	100	3133	7267	6367
Guaiacolo	Fumo/tostato	100	520	2770	3030
Vanillina	Vaniglia	100	2100	4800	3100
Somma ottalattoni	Legno/cocco	100	85	186	216

Viste le possibilità che offre il mercato il problema che si pone è come scegliere il connubio legno-tostatura per soddisfare il proprio **progetto enologico**. Si ricorda che i composti ceduti dal legno della barrique al vino sono un centinaio, sostanzialmente appartengono alle seguenti categorie, come composti fenolici, ellagiotannini, cumarine, lattoni, norisoprenoidi, ognuno di questi composti può poi evolvere nel vino. Dalla reazione di lenta ossidazione degli ellagitannini si forma l'acetaldeide, che interagisce con le reazioni di polimerizzazione delle antocianine e dei polifenoli, portando a una stabilizzazione del colore dei vini barricati in legno di rovere.

### **L'origine dei legni**

Abbandonate o riservate ad uso limitato le specie vege-

tali storiche come il castagno, o innovative come la robinia ed il ciliegio, è la quercia, nelle sue diverse specie, l'essenza dominante. Tuttavia, le diverse specie botaniche del rovere hanno un effetto specifico e diretto sul gradimento organolettico dei suoi aromi composti.

La *Quercus robur-pedunculata* o farnia o rovere pedunculato: è la specie più diffusa in Europa, poiché adatta ad ampio areale climatico, includendo areali fertili e umidi (Nord ed Est Europa). La zona di produzione più nota è la Slavonia (Croazia orientale). Regione fertile e umida contornata da grandi fiumi come il Danubio e il Sava. Da quest'area derivano di norma i legni atti all'assemblaggio di grandi botti. Le doghe tendono ad essere povere di sostanze aromatiche e ricca di composti tannici. Di conseguenza il rovere di questa origine è meno adatto alla maturazione di vini robusti e più indicato per l'affinamento dei distillati.

La *Quercus petraea-sessilis* o quercia sessile: diffusa su suoli più poveri e siccitosi con crescita più lenta e con legni per questo a grana più fine. Differisce dalla *Quercus robur-pedunculata* perché nei suoi ambienti elettivi ha una crescita meno rapida, la tessitura del legno è più porosa e quindi è meno compatta, più povera di tannini, più ricca di sostanze aromatiche quali l'eugenolo e la vanillina.

Tuttavia, è corretto far notare che perché in tutte le regioni boschive che ci riguardano coesistono alberi di rovere sia *Q. robur-pedunculata* che *Q. petraea-sessilis* anche se in proporzioni diverse da foresta a foresta.

La *Quercus Alba*, ovvero il rovere bianco americano: foreste diffuse in gran parte degli Stati Uniti, a legna molto compatta di migliore tenuta rispetto al Rovere europeo, con una maggiore quantità di aromatici come i Cis-lattoni che portano poi il gusto di cocco (Fig.133).

**Figura 133**  
**Distribuzione geografica del genere Quercus**



*Fig.1 Quercus Robur o  
Quercus Pedunculata*



*Fig.2 Quercus  
Sessilis o  
Quercus Petraea*



*Fig.3 Quercus  
Alba*  
R.S Jackson  
(2008).

Anche l'ambiente di crescita delle querce è un fattore distintivo rilevante. Le foreste di maggiore importanza enologica sono quelle della Slavonia, della Francia, del Caucaso e del Nord America, anche se, in realtà, ultimamente l'interesse si è spostato anche su legni che arrivano da altre zone europee come per esempio l'Austria, la Germania, e la Russia.

### **La scelta del legno**

In passato la scelta del legno era basata praticamente su pochi parametri: origine del legno, livello di tostatura e affidabilità del bottaio. Tuttavia, lo stesso bottaio non era in grado di garantire sempre lo stesso risultato, vista la variabilità intrinseca del legno. Questa variabilità veniva

riassorbita, nel caso delle barrique, dall'alto numero delle stesse, che in ogni caso andavano a ricostituire un lotto ed un *vino medio*, con l'enologo che poteva modulare solo l'intensità della tostatura. Nel caso delle botti di grandi dimensioni, dove una singola botte può contenere un'intera linea, il problema della variabilità diventa importante perché, a differenza delle barrique, sottoposte a rapido turn-over, le botti hanno un tempo di vita di 15-30 anni e, quindi, sono in grado di condizionare per lungo tempo le caratteristiche del vino finito.

Come accennato oltre l'assoluta prevalenza del genere *Quercus*, altre essenze legnose sono di possibile impiego, seppur limitato. Il vino affinato in ciliegio acquista aromi dolci (frutta sotto spirito, frutta cotta, note ossidate). Tuttavia, si tratta di legno poroso non adatto a lunghi periodi di affinamento. L'acacia invece è un legno a porosità ridotta, si adatta bene all'affinamento di vini bianchi. Il castagno, di esteso impiego in passato, poi abbandonato ed oggi oggetto di reintroduzione in specifiche zone, tende a marcare alcune caratteristiche sensoriali quali acidità, astringenza, corpo e gusto amaro.

### **Dimensioni dei contenitori**

L'evoluzione che avrà il vino in botte dipende da svariati fattori, primo fra tutti il volume della botte; più piccola sarà la botte maggiori saranno gli scambi di sostanze del legno e di ossigeno. L'esempio classico è quello della barrique, in grado di caratterizzare fortemente il vino e di accelerare l'evoluzione dello stesso. Viceversa, le botti di grandi dimensioni sono più rispettose delle caratteristiche proprie del vino e più adatte ad affinamenti medio lunghi. Chiaramente le caratteristiche del legno ed il binomio legno-tosta-

tura giocano un ruolo fondamentale in tutti questi processi.

### Le fonti di variabilità

Il concetto di variabilità della materia prima è familiare per l'enologo: in una vigna, anche solo di qualche ettaro, si evidenziano delle zone di maggior o minor vigore, diversa disponibilità idrica, caratteristiche dell'uva diverse. Nel caso del legno si deve invece tener conto di ulteriori variabili: le foreste occupano decine o centinaia di chilometri quadrati, la variabilità intrinseca è aumentata da fenomeni di competizione, disponibilità di acqua e svariate altre variabili specifiche del luogo di crescita.

Oltre a queste fonti di variabilità si deve tener conto del fatto che i tronchi utilizzati per bottame hanno un'età di 120-160 anni; una doga prodotta dalla parte centrale del legno avrà un invecchiamento o *stagionatura umida* di oltre cento anni mentre una doga prodotta dalla parte più esterna del durame avrà solo una trentina d'anni dello stesso invecchiamento. Chiaramente le doghe ottenute dallo stesso tronco non saranno omogenee.

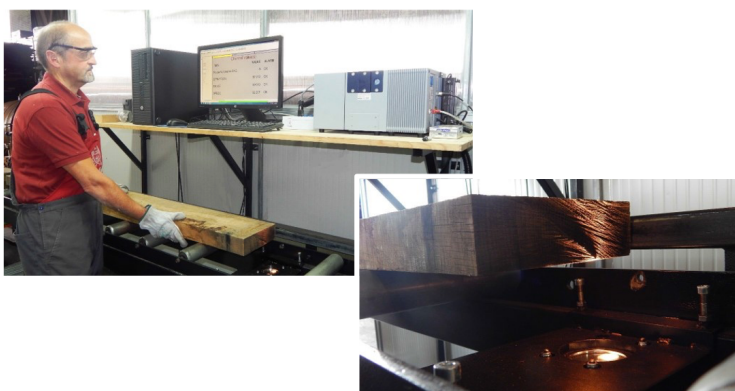
### La tecnologia NIR

Negli ultimi anni si stanno affermando sul mercato botti ottenute dalla classificazione del legno con **tecnologia NIR**; tali doghe e botti sono selezionate sulla base delle caratteristiche compositive del legno in relazione al contenuto di tannini ellagici e alle caratteristiche aromatiche del legno stesso. (Fig.134) Questo tipo di selezione ha portato all'individuazione di quattro classi commerciali:

- Struttura, caratterizzata da alti contenuti di tannini e aromi generici di legno
- Dolce, caratterizzata da morbidezza gustativa ed alti

- contenuti in vanillina e lattoni
- Spezie, caratterizzata da morbidezza e alti contenuti di eugenolo
- Equilibrio, con caratteristiche intermedie tra le classi precedenti.

**Figura 134**  
**Analisi NIR su doge di quercia.**



In conclusione, possiamo dire che nel processo di invecchiamento\affinamento del vino in contenitori di legno i principali fattori che influiscono di cui chi affina in legno deve avere chiaro sono:

- Chimismi dell'interazione legno-vino molto complessi
- Essenza legnosa, dimensione del contenitore o diverse forme del legno
- Temperatura di invecchiamento\affinamento dipendenti dalle caratteristiche sia del vino sia del legno e la durata dell'affinamento.

La scelta della tipologia del legno diventa fondamentale per il soddisfacimento del progetto enologico di ogni cantina.



## Vino e legno: tendenze, evoluzione e prospettive

di *Alessandra Biondi Bartolini*, Agronoma e Giornalista scientifica

### **La forma del vino**

Perché nel mondo del vino si dà così tanta importanza al contenitore, quello dove si produce o quello dove si confeziona, fino a volte ad arrivare a definire il contenuto stesso con il suo materiale o la sua foggia? Il vino in barrique o in legno, il vino in anfora o in terracotta, il vino in bottiglia, in bag in box, in lattina..., sono definizioni che identificano il prodotto con il suo “guscio”, quasi dimenticando varietà, processi e tecnologie. La risposta che ci possiamo dare è legata all'importanza che il nostro cervello dà alla percezione della forma, che per un liquido necessariamente si identifica con quella del suo contenitore: la botte, l'anfora, la bottiglia sono cioè la forma del vino.

Ma non si tratta soltanto di una questione cognitiva: nella storia del vino la scelta dei contenitori e dei materiali nei quali produrre, conservare e trasportare i vini ha segnato delle tappe importantissime per l'evoluzione dell'enologia e della qualità. È successo quando dall'otre gli antichi sono passati ai dolia e alle anfore in terracotta, quando si è scoperto l'uso dei contenitori in legno, che vedremo, e poi ai materiali più moderni come il cemento e l'acciaio. Ed è successo anche con l'avvento delle bottiglie in vetro e dei loro sistemi di chiusura.

## **Breve storia dell'uso del legno in enologia**

Il mondo classico, Greci e Romani, non conosce la botte in legno. Il vino viene prodotto e trasportato nei contenitori in terracotta, rispettivamente i dolia e le anfore, di forma diversa a seconda delle regioni di origine. Alcuni altri manufatti, attrezzi o parti di attrezzi in legno sono invece presenti presso gli Etruschi e i Romani nelle operazioni di pigiatura e di torchiatura delle uve. La nascita dei contenitori in legno, dapprima semplicemente scavati all'interno dei tronchi degli alberi e successivamente assemblati per dare loro forme e dimensioni diverse, si deve ai Celti che lo usano principalmente per trasportare il latte e la birra.

I Romani cominciano a conoscerli e a descriverli grazie agli abbondanti e frequenti scambi commerciali con la Gallia, dove sono utilizzati nei trasporti fluviali attraverso il Rodano. La stessa parola *tonneaux* sembra derivare da "*tonn*", otre, poiché sono proprio gli otri che in quelle regioni i nuovi contenitori in legno vanno a sostituire nel trasporto dei vini. In Gallia le botti sono già usate per la produzione e conservazione della birra quando Cesare le descrive per un uso meno ordinario: riempiti di materiale infiammabile i Galli li lanciano sull'esercito romano, ma naturalmente come sappiamo non basta ed è infatti con la conquista da parte dei Romani che la cultura della vite e del vino arriva di là dalle Alpi e che le botti vanno a sostituire gradualmente le anfore, soprattutto nelle fasi di trasporto del vino. Rispetto alla terracotta i fusti in legno sono infatti più adatti ai trasporti, facilmente impilabili, più resistenti alle pressioni o agli urti, oltre che più leggeri e maneggevoli.

Dalla descrizione che ne fanno gli autori latini si ricavano alcune informazioni sulle caratteristiche dei contenitori

in legno. Le botti hanno dimensioni molto diverse, da 24 cm a 2 metri, fino anche a quelle «più grandi di una casa» citate da Strabone, sono realizzate con essenze diverse - larice, abete, abete rosso e quercia - in funzione della disponibilità di legname delle diverse regioni e delle caratteristiche del legno che deve essere leggero e facile da tagliare e piegare. Per la cerchiatura si usano salice, pioppo, nocciolo o castagno, legati con vimini e la superficie interna dei contenitori può essere trattata con pece ed essenze erbacee o aromatiche. Con la caduta dell'Impero Romano, l'arte della fabbricazione delle botti, come quella della coltivazione la vite e la produzione del vino, viene conservata principalmente all'interno dei monasteri, ma già a partire dall'anno 1000 si riorganizza e con la ripresa della viticoltura e i commerci rinasce fiorente la produzione di contenitori di moltissime fogge, essenze e dimensioni.

### **La tecnologia e l'innovazione: cos'è cambiato da allora**

Dalle stampe e le immagini antiche si sa che allora come oggi le botti continuano a essere contenitori assemblati senza colle e chiodi e sia le tecniche di assemblaggio sia le forme sono abbastanza simili a quelle che avevano in passato. Allo stesso modo le fasi del processo e anche molti attrezzi manuali sono rimasti identici e continuano ad avere gli stessi nomi.

A essere invece cambiate radicalmente sono le capacità tecniche di scelta e selezione del legno in tutte le fasi della filiera, dalla foresta alla cantina, il controllo delle operazioni e quello della qualità. Presso i costruttori, inoltre, soprattutto le operazioni più affaticanti sono state automatizzate. In cantina invece sono aumentate le conoscenze legate ai processi e alle reazioni che avvengono negli scam-

bi tra legno e vino, e questo ha reso possibile una migliore gestione enologica, alla quale si è aggiunta anche una migliore gestione di tutte le operazioni di igiene che riducono il rischio di contaminazione del legno e quindi del vino.

Tra le innovazioni che nei diversi secoli vengono introdotte nella gestione delle botti è importante ricordare il *dutch match*, la stoppinatura, che gli olandesi inventano nel 1765 e che consiste nell'operazione di combustione dello zolfo all'interno della botte. Questo porta a una maggiore possibilità di conservazione e invecchiamento dei vini nelle botti e avviene nello stesso periodo in cui anche la bottiglia fa la sua comparsa: un cambiamento di stile nei vini che potendo essere conservati più a lungo con un minore rischio di alterazione divengono più strutturati e adatti all'invecchiamento. In Italia in quello stesso periodo le botti sono realizzate in castagno, roverella, acacia o frassino, le essenze più presenti nei nostri boschi, ma tra la fine del 1800 e gli inizi del '900 comincia a diffondersi anche il commercio delle botti in rovere provenienti prevalentemente dalla Slavonia e dalla Francia.

### **Il novecento, i nuovi materiali inerti e la rivoluzione della barrique**

Nel Novecento con l'enologia moderna e la scoperta dei microrganismi del vino, la gestione dell'igiene assume un ruolo fondamentale nella prevenzione dei difetti e delle contaminazioni. L'attenzione va quindi a materiali nuovi, più facili da igienizzare ma anche meno costosi e più facili da gestire: il cemento, la vetroresina e infine l'acciaio inossidabile. Il legno viene temporaneamente dimenticato e le vecchie botti sono percepite come un residuo del passato, non rispondono alla nuova idea di modernità e, invecchia-

te senza particolari attenzioni per la loro manutenzione e pulizia, rappresentano talvolta un fattore di rischio per la qualità dei vini. Tutto cambia intorno agli anni '80 e '90 quando, soprattutto con la diffusione delle varietà bordolesi e del modello produttivo delle regioni francesi, fa il suo ingresso praticamente in tutte le regioni vitivinicole italiane (ma non solo) la *barrrique*.

È un momento chiave nel quale cambia il rapporto tra il vino e il vaso vinario: da contenitore la *barrrique* diviene uno strumento di elevazione della qualità dei vini, per i quali si ricerca un apporto aromatico specifico dato direttamente dal legno, con caratteri che in quella fase sono molto ricercati e spinti dalla critica enologica internazionale, soprattutto anglosassone. Addirittura, nascono dei neologismi per indicare questi vini o i locali che li ospitano come "barricato" o "barricaia" che, a tutti gli effetti non sono termini italiani. Ma l'introduzione della *barrrique* nelle denominazioni italiane solo a volte è giustificata e porta al miglioramento di grandi vini, mentre a volte non lo è del tutto e altre ancora non lo è affatto.

È quando l'euforia per l'introduzione della *barrrique* in cantina arriva nelle grandi denominazioni, che i produttori italiani più legati alla tradizione cominciano a farsi delle domande e in alcuni casi, come in Piemonte per il Barolo e anche in Toscana per il Brunello di Montalcino, si formano delle vere e proprie spaccature tra coloro che strizzano l'occhio alla novità e coloro che non ne approvano l'uso. Ma anche questa ormai è storia e da allora l'enologia italiana e la ricerca internazionale hanno fatto moltissima strada. Oggi la situazione è di una maggiore esperienza e una migliore conoscenza sull'uso della *barrrique* sui diversi vitigni e anche le tendenze di mercato e i gusti dei consumatori stanno modificandosi.

## **Nuove tendenze nell'uso del legno in enologia**

Per capire come è cambiato il rapporto tra il vino e l'uso del legno nei paesi europei di maggior tradizione e nel cosiddetto Nuovo Mondo, nel 2019 l'Unione Italiana Vini in collaborazione con il Master of Wine inglese Justin Knok ha realizzato un'inchiesta che ha coinvolto 48 produttori, tonnellerie, consulenti e accademici in tutto il mondo. Punto di partenza di una riflessione di questo tipo è il modo in cui è cambiato negli anni anche il gusto dei consumatori: alla ricerca dominante della concentrazione e della potenza si è sostituita quella dell'eleganza, della freschezza, della territorialità e non ultima della sostenibilità delle produzioni.

Negli ultimi anni sono poi cambiate anche le caratteristiche delle uve, che per effetto delle temperature progressivamente sempre più elevate nel periodo della maturazione, danno prodotti con gradazioni e pH crescenti. Per produrre vini tipici ed eleganti, i produttori sono intervenuti sul processo, in vigneto e in cantina, adottando tecniche estrattive sempre più delicate, controllando maggiormente le temperature di fermentazione e soprattutto modificando o riducendo l'uso del legno in affinamento. Il legno continua ad avere un ruolo importante, ma l'approccio al suo utilizzo è oggi più maturo e ha alle spalle un bagaglio di studi, sperimentazione, esperienze e conoscenze, che hanno permesso di adattare le scelte ai diversi stili enologici ricercati.

La ricerca internazionale ha prodotto negli ultimi trent'anni una grandissima mole di studi sulla qualità delle componenti volatili e dei composti fenolici non volatili come gli ellagitannini, ceduti al vino dal legno di rovere, sulle loro interazioni con i processi chimici e microbiologi-

ci nel corso dell'affinamento e sull'impatto sensoriale con il profilo aromatico, il colore e le sensazioni di astringenza del vino. Oggi uno dei principali obiettivi dell'uso dei contenitori in legno è quello relativo alla gestione dell'ossigeno, necessario per stabilizzare il colore, favorire l'evoluzione dei tannini e delle sensazioni di astringenza, struttura e morbidezza, oltre che l'armonizzazione dei caratteri aromatici del sistema legno-vino. La scelta delle caratteristiche dei contenitori, della tipologia di legno e della durata dell'affinamento, dipendono in gran parte dalle esigenze di gestione controllata dell'ossigeno, che a loro volta varia con lo stile e la struttura tannica, il colore e la capacità riducente dei vini.

Tra le tendenze generali e più recenti possiamo riportare un uso bilanciato e minore di legno nuovo (e la conseguente maggiore durata delle *barrique*), una graduale riduzione soprattutto per i vini italiani dell'uso di legno delle specie di rovere americana, una crescente attenzione non più alla provenienza geografica del rovere, quanto piuttosto alle caratteristiche del legno, la grana, la stagionatura e la tostatura e infine una conoscenza sempre maggiore che porta i produttori a richiedere la personalizzazione e la customizzazione anche nella fabbricazione delle *barrique*.

L'indagine sopra citata del 2019 identifica quindi dei nuovi modelli e schemi di uso del legno, che si stanno diversificando per rispondere nelle varie regioni viticole a obiettivi di stile e caratteristiche dei vini e dei vitigni anch'essi necessariamente diversi. In questo quadro due sono le tendenze principali che si delineano:

- un modello italiano o spagnolo, che privilegia maturazioni lunghe, necessarie per raggiungere nella sosta in legno la stabilità e le caratteristiche ricercate di complessità finale;

- un modello francese, esportato anche nei paesi del Nuovo Mondo, nel quale le finalità di estrazione e stabilizzazione raggiungibili con il passaggio in barrique, sono concentrate in un periodo più limitato, essendo poi affidate all'affinamento in bottiglia l'evoluzione e l'armonizzazione dei caratteri gustativi e aromatici.

Mentre per alcuni nuovi mercati internazionali e per i vini di media gamma, lo stile "barriccato" continua a essere apprezzato, in un nuovo **modello di uso del legno italiano descritto dall'indagine di UIV**, destinato per lo più a vini di alta gamma e a mercati competenti e maturi, si sta assistendo poi alla riscoperta delle botti più grandi e a un uso del legno di minore impatto e dominanza aromatica. Un modello, attento anche agli aspetti di territorialità e sostenibilità ambientale.

### **L'uso del legno e la sostenibilità**

Il primo modello di gestione forestale sostenibile e durevole è sicuramente quello francese, voluto da Jean Baptiste Colbert, ministro e consigliere di Luigi XIV che nel piantare nel 1670 il primo nucleo della foresta di rovere del Tronçais, pianificò un programma di forestazione e uso delle foreste demaniali dello Stato che avrebbe dovuto mantenersi efficiente e produttivo per fornire con continuità legname alla flotta della Marina francese per i successivi 200 anni. Un utilizzo che naturalmente è mutato nel tempo e che tuttavia oggi fornisce il legno più pregiato per la produzione delle barrique di tutto il mondo.

Oggi il 70 % del legno francese lavorato nelle tonnellerie proviene da foreste demaniali gestite in modo sostenibile dall'ONF - Office National des Forêts - e dal 1985 la foresta di rovere è cresciuta mediamente di 85.000 ha



ogni anno. Il principio è che se la foresta produce valore verrà mantenuta, in caso contrario il bosco facilmente sarà abbandonato e prima o poi potrà essere sostituito da usi diversi come quello agricolo, commerciale o industriale.

Non tutti i paesi, tuttavia, fanno un uso virtuoso e sostenibile delle loro foreste, per cui oggi per avere la garanzia che il legname utilizzato per la fabbricazione delle barrique provenga da foreste sostenibili, la cosa più sicura è affidarsi alle certificazioni PEFC e FSC, standard internazionali che tutelano e valorizzano i prodotti legnosi e le foreste di tutto il mondo.

### **Il legno di castagno per valorizzare le foreste e i vini toscani**

Un esempio interessante di valorizzazione delle foreste e di utilizzo del legname locale è quello di due progetti che si sono svolti in Toscana per ricostruire la filiera del legno di castagno destinato alla produzione di botti. Il primo progetto pilota, **ProVaCi**, svolto con la partecipazione della Fondazione per il Clima e la Sostenibilità, l'Accademia dei Georgofili e l'Università di Firenze e grazie al sostegno della Fondazione Cassa di Risparmio di Firenze, indagava la provenienza delle botti storiche ancora presenti nelle cantine toscane, dimostrandone la provenienza locale grazie all'analisi molecolare, e valutava le possibilità di recupero e valorizzazione della produzione di botti dal legname dei boschi del Chianti.

A questo ha fatto seguito il progetto **REVIVAL** (<http://www.climaesostenibilita.it/revival-2019-2021/>) - **Il vino nel legno: Realizzazione dei Vasi Vinari con Legno locale** – che è stato finanziato nell'ambito della sottomisura 16.2 dei Bando GAL-Start della Regione Toscana e con il contributo della Fondazione Cassa di Risparmio di Firenze,

che si è concentrato sui boschi del Mugello, regione a forte vocazione agricola e forestale coperta da bosco per il 65% della superficie totale. Partner del progetto sono stati la **Fondazione per il Clima e la Sostenibilità** per il coordinamento scientifico, due aziende viticole, la **capofila Castello di Verrazzano e la Società Agricola Lavacchio**, e i partner scientifici, **l'Università di Firenze con il Dipartimento di Scienze e Tecnologie Agrarie, Alimentari, Ambientali e Forestali (DAGRI) e il Dipartimento NEUROFARBA di Neuroscienze, Psicologia, Area del farmaco e Salute del Bambino, e il CNR IBE**. Oltre ai partner istituzionali la rete si è poi estesa ad altre aziende viticole toscane, professionisti, ditte di lavorazione del legno, segherie e fabbriche di botti.

Le fasi del progetto hanno interessato il rilievo dei boschi di castagno, la selezione del legname adatto alla produzione delle doghe, la loro segagione, la messa a punto di un sistema di selezione dei fusti in piedi e delle tavole, la caratterizzazione chimica e fisica del legno, la realizzazione di carati dal volume di 250 litri e infine il loro utilizzo presso le aziende vinicole partner, per la maturazione del Sangiovese. Il valore del progetto è stato quello di unire due filiere in grado di sostenersi a vicenda: da una parte quella del vino toscano alla ricerca di elementi di caratterizzazione e identità che la leghino al suo territorio e la rendano sempre più riconoscibile agli occhi dei mercati e dei consumatori, dall'altra quella forestale che necessita di individuare usi e prodotti di pregio per migliorare i margini necessari per la sua stessa sopravvivenza, fondamentale per la tenuta ambientale ed economica dei territori stessi.

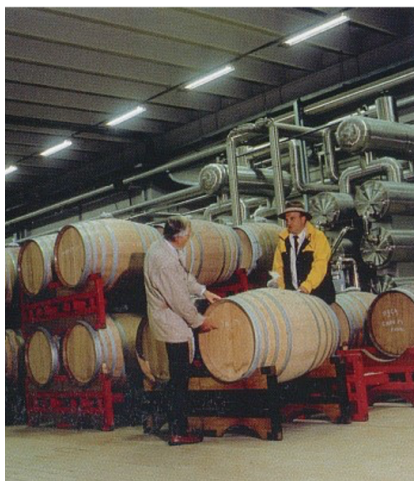
## Il legno che nobilita il vino

di *Gabriele Pazzaglia*, Winemaker Banfi

### **Le tipologie di legno utilizzate in campo enologico - l'esperienza Banfi**

Nel 1984, arrivarono in cantina le prime barrique, o meglio, un formato intermedio tra le barriques e i tonneaux, (Fig.135) voluto dall'amministratore delegato Ezio Rivella, che, grazie alla sua lungimiranza, aveva preferito un formato innovativo più indicato per un utilizzo trasversale, grazie ad un impatto sul corredo aromatico e polifenolico meno evidente rispetto alle barrique classiche. Infatti, se inizialmente l'idea era quella di utilizzare questo nuovo formato per affinare il Sangiovese, con l'arrivo a Montalcino dei vitigni internazionali (Merlot, Cabernet sauvignon...) Banfi decise di indirizzare l'utilizzo di questo formato anche verso queste varietà.

## Figura 135 Le “barriques” Banfi



### Il formato «Banfi», 350 litri

La ricerca di un formato innovativo destinato ad un utilizzo trasversale: dall'obiettivo in dell'affinamento del Sangiovese quello della varietà rosse utilizzate per la produzione dei Supertuscan.

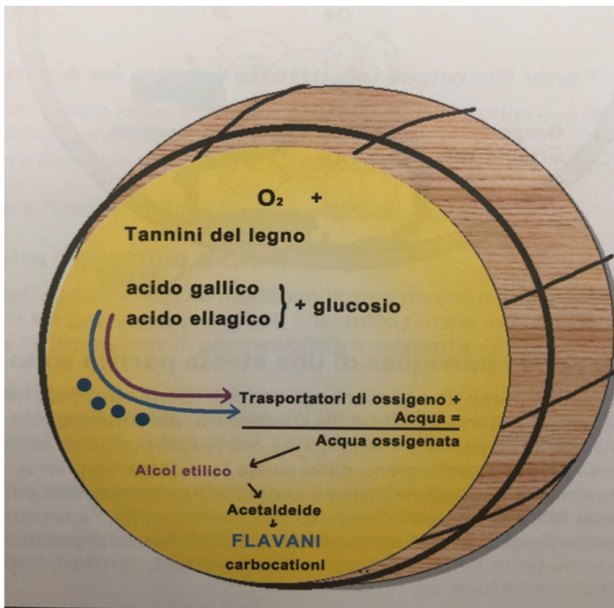
Un contenitore che si pone tra la barrique e la bc quale l'ossigenazione è più lenta e l'impatto sul c aromatico e polifenolico del vino è meno evidente rispetto alla barrique classica.

Nel 1999, a Banfi vennero piantati circa 250 Ha. di vigneti aumentando così la produzione di vini rossi e creando la necessità di un'area di affinamento più ampia. Iniziò così il progetto dedicato alla realizzazione di una nuova area di affinamento in grado di ospitare i quantitativi di barriques che si sarebbero raggiunti negli anni successivi (6000 pezzi, circa 1500 barriques in più ogni anno dal 1999 al 2001).

Alla luce di alcune criticità emerse con le prime barriques introdotte in azienda, la direzione tecnica, con l'arrivo delle nuove botticelle, chiese ai cantinieri di monitorare attentamente come esse impattassero sui vini, così da mettere a punto eventuali interventi futuri volti a migliorare questa nuova tecnica di affinamento.

L'utilizzo della barrique è fondamentale per l'arricchimento del vino, per la cessione dei tannini ellagici ma soprattutto per la micro-ossigenazione e la stabilità del colore, favorita dalla formazione di gruppi cromofori tannino-antociano (Fig.136).

**Figura 136**  
**Influenza dell'affinamento in legno sul vino**



È proprio in questo periodo, infatti, che inizia a prendere forma il progetto di gestione della stagionatura dei legni all'interno del perimetro della cantina, avvalendosi di due diversi sistemi: il primo, più tradizionale, a doghe ortogonali, poco ingombrante ma con lo svantaggio di avere una minore esposizione delle doghe agli agenti atmosferici.

rici (decremento di tannini del 20%); il secondo, quello ottagonale, invece, più ingombrante, ma efficace per una maturazione delle doghe ottimale (decremento di tannini del 45%). La gestione della stagionatura resta ancora una delle operazioni gestite internamente all'azienda e, nel dettaglio, prevede la movimentazione di circa 30 m<sup>3</sup> all'anno di legname acquistati direttamente da un merrandier, che, una volta arrivati in azienda, vengono disposti per il 60% a doghe cubiche e per il 40% a doghe ottagonali e lasciati a stagionare per 36 mesi, periodo nel quale vengono effettuati controlli relativi alla qualità ogni dieci mesi circa.

Il controllo qualità è una pratica fondamentale anche per quanto riguarda le barriques già assemblate, infatti, dal 2001 viene applicato uno specifico protocollo che prevede l'apertura di un fusto ogni 50 e di verificare eventuale presenza di anomalie, come per esempio legate al processo di tostatura.

### **Aspetti critici dell'affinamento in legno**

Al netto di tali benefici, è bene ricordare i possibili problemi che il legno presentare. Per esempio, un'ospite "speciale" è il *Brettanomyces bruxellensis*, (Fig.137) un lievito con forma a losanga, gemmazione multipolare e dimensioni variabili da due a cinque micron, responsabile di alterazioni aromatiche e olfattive del vino, che, trasformando gli acidi cinnamici in fenoli (4-etilfenolo e 4-vinilfenolo) e che, se presenti ad alte concentrazioni, rilasciano odori tipici di sudore di cavallo e stalla che vanno a inficiare la qualità del vino. Per evitare gli effetti negativi che il *Brettanomyces* può creare, è necessario giocare d'anticipo, attraverso l'applicazione di accurate pratiche di igiene in cantina e un continuo monitoraggio biologico, ma, a volte,

nemmeno tutta questa attenzione risulta essere sufficiente, e per questo è stato fondamentale adottare, a partire dal 2001, un protocollo microbiologico interno che permettesse di tamponare al meglio alcune problematiche che, all'inizio dell'utilizzo delle barriques, a causa dell'inesperienza dei cantinieri, si presentavano più frequentemente di quanto possa accadere oggi.

**Figura 137**  
**Un lievito nemico: *Brettanomyces bruxellensis***

Il *Brettanomyces* è un lievito di contaminazione a forma di losanga e gemmazione multipolare di dimensioni variabili dai 2 ai 5  $\mu$ , responsabile di particolari alterazioni aromatiche ed olfattive nel vino, trasformando gli acidi cinnamici in vinilfenoli: 4-vinil-fenolo e 4-etil-fenolo, caratterizzati da odori forti come quello di farmaceutico, fenolico, sudore di cavallo, stalla.

Aumento di concentrazione durante l'affinamento in legno:

- *Barriques usate* -> per ché già in quinate
- *Barriques nuove* -> utilizzo del cellulosio come fonti di nutrimento.



In cantina, alla fine delle fermentazioni malolattiche, si procede, a campione, con la determinazione di cellule di *Brettanomyces* attraverso Petri PAD con terreno selettivo e una tecnica di microscopia, con un prelievo sterile e successivo striscio Petri PAD. Nel caso di presenza di cellule di *Brettanomyces*, si provvede ad intervenire in qualche modo sul vino e sulla barrique con l'intento di arginare eventuali problematiche.

Altre tecniche di verifica della presenza di *Brettanomyces* in cantina, sono: la valutazione sensoriale, e l'identificazione degli odori di fenoli tramite l'analisi con il gas

massa, entrambe pratiche utilizzate di solito quando il problema è già ad un livello avanzato. Nel caso in cui, a seguito dei monitoraggi emergesse un'alta concentrazione di *Brettanomyces*, si procede il prima possibile con il travasare il vino, che dovrà essere poi lavorato, utilizzando sistemi di filtrazione accurati, principalmente quelli tangenziali (sono di estremo aiuto, in quanto delicati e non invasivi a livello di ossidazione e di sottrazione dei componenti del vino).

Quando non si riesce a procedere con i travasi, si lavora per via conservativa, utilizzando tecniche specifiche a seconda dei volumi di vino da trattare, come per esempio l'utilizzo di prodotti come i Chitosano. Elemento di fondamentale importanza per prevenire problemi di *Brettanomyces*, è la pulizia della barrique, che può essere svolta con diverse tecniche. La solfitazione: la tecnica più semplice, che viene effettuata bruciando una pastiglia (zolfino) di zolfo elementare. Questa pratica è utile per conservare al meglio la struttura della barrique ed eliminare la presenza di Brett, anche se non in modo particolarmente efficace.

L'utilizzo di acqua calda a 80-85° ad alta pressione o di vapore: entrambi due interventi che danno ottimi risultati per quanto riguarda il debellamento del Brett, ma che tolgono aromi al legno e creano problemi strutturali alla barrique. Il lavaggio chimico: sistema di igienizzazione svolto con soluzioni alcaline carbonatate e passaggio acido, introdotto in azienda ormai da 4/5 anni e svolto per mezzo di una linea di sanitizzazione automatica. L'ozono: ultima tecnica di sanificazione introdotta a Banfi (da 4/5 anni circa), è un sistema di produzione di ozono gassoso utilizzato principalmente per la sanitizzazione delle botti, ma negli in azienda abbiamo iniziato a provare questa tecnica anche sulle barriques mettendo a punto un metodo che, pur mantenendo la cautela nell'utilizzo dell'ozono, prevedesse



tempistiche più brevi (manualmente, un lavaggio di questo tipo richiederebbe 5 ore per 12 barriques) nel gestire questa operazione.

La linea di lavaggio creato dall'ufficio tecnico dell'azienda inaugurata nel 2005 (Fig.138) infatti, gestisce i processi di svuotamento, lavaggio e riempimento in modo molto più efficiente: 12 *barriques* all'ora.

**Figura 138**  
**Linea di lavaggio Banfi**



Linea di lavaggio Jumboklin

1. Stazione di carico
2. Stazione di svuotamento
3. Stazione di feccatura
4. Stazione di lavaggio
5. Stazione di asciugatura
6. Stazione di olfazione
7. Stazione navetta
8. Stazione di riempimento
9. Stazione di scarico

## Il legno in fase di vinificazione: i tini Horizon

Un ultimo tema da affrontare in merito all'utilizzo dei legni in Banfi, va ricordata la nuova area di vinificazione (Fig.139) inaugurata nel 2007 e composta da 24 tini tronco conici, con una parte mediana in rovere francese leggermente tostata, che favorisce la fase di ossigenazione durante la fermentazione e l'espressione cromatica dei nostri Sangiovese, e una parte superiore e inferiore in acciaio, per il termico controllo del mosto.

**Figura 139**  
**I tini Horizon ed i loro vantaggi**

- Termocontrollo
- Microsigenazione
- Migliore espressione dei profumi e dei colori del Sangiovese
- Maggior contenuto in aromi glicosilati



### **Gestione e costi della barriiccaia**

L'approvvigionamento delle barriques di Banfi avviene in due modalità: la prima, è quella che:

- a) prevede la gestione del legname internamente all'azienda (costo -> 40€/barrique - principalmente relativo allo stipendio dell'operatore deputato alla movimentazione e al controllo del legname durante il processo di maturazione),
- b) la lavorazione di una *tonnellerie* di fiducia (Gamba) che procede all'assemblaggio delle barriques (costo -> circa 340€/barrique), operazioni che in totale fanno arrivare il prezzo di ogni barrique intorno ai 1.000 €.

La seconda prevede l'acquisto diretto da fornitori specializzati, che, ormai da tre anni, è stato sostituito con la locazione, ovvero di affitto a lungo termine: una volta finito il ciclo di utilizzo all'interno dell'azienda, il fornitore ritira le barriques e provvede alla loro seconda vita, togliendo all'azienda il problema di questa operazione. Negli anni, poi, oltre alle barriques, sono state introdotte in cantina nuove tipologie di legni: oltre alle botti da 60

Hl. che rappresentano la base dell'affinamento dei nostri Brunelli, abbiamo introdotto legni provenienti dalla Slavonia, dall'Austria e della Germania, di formato medio, con tostatura molto leggera. Questi vasi vinari sono dedicati ai nostri cru aziendali, così da avere una grande armonizzazione tra ossigeno e apporto aromatico, oltre a preservare l'integrità varietale del Sangiovese.

L'utilizzo di botti medio-grandi (40 Hl) con tostatura leggera, provenienti da foreste di Slavonia, Austria e Germania è stata da poco introdotta in azienda. Questi vasi vinari possiedono ottime caratteristiche per affinare i cru aziendali che sostano in legno per un periodo superiore ai 24 mesi. L'armonizzazione tra ossigeno, apporto aromatico e gustativo preserva la personalità del vino, il frutto e la freschezza.

## **Conclusioni**

Quasi quarant'anni di esperienza hanno permesso alla Banfi di superare ampiamente il vecchio concetto del “*boisé*” e ottimizzare la risorsa “legno” nelle fasi di affinamento, attraverso un oculato impiego delle diverse specie di Quercus, delle dei trattamenti termici delle botti, delle loro dimensioni, dei tempi e modo di permanenza durante il processo di affinamento. Con l'obiettivo primario di preservare i caratteri sensoriali distintivi dei diversi terroir e cru aziendali.





**fondazione banfi**

**SANGUIS JOVIS**  
ALTA SCUOLA DEL SANGIOVESE

*Sanguis Jovis*  
I Quaderni

Volume numero 1 - Febbraio 2019

**Lo Storytelling del Sangiovese nell'era digitale**

a cura di Alberto Mattiacci

Volume numero 2 - Ottobre 2019

**Il Sangiovese del futuro**

*Cambiamenti tra clima, vitigno, mercato*

a cura di Roberto Miravalle

Volume numero 3 - Settembre 2020

**La ricerca scientifica Sanguis Jovis**

**Lavori 2017 - 2019**

*Genetica. Retail. Narrativa. Neuroscienze*

a cura di Alberto Mattiacci

Volume numero 4 - Luglio 2021

**I Terroir del Sangiovese in Toscana**

a cura di Roberto Miravalle

Volume numero 5 - Aprile 2023

**Fra prodotto e mercato**

*I valori della marca nel Sangiovese*

a cura di Alberto Mattiacci

Volume numero 6 - Novembre 2023

**Maturazione e maturità del Sangiovese**

*La ricerca di un equilibrio tra viticoltura ed enologia*

a cura di Roberto Miravalle



Scansiona il Qr-Code per scaricare  
i numeri precedenti







**fondazione banfi**

---

**SANGUIS JOVIS**  
ALTA SCUOLA DEL SANGIOVESE

Finito di stampare nel mese di Novembre 2023

Il sesto volume della collana *Sanguis Jovis* - I Quaderni, raccoglie i contributi della Summer School tenutasi a Montalcino nel luglio del 2021.

Il tema che viene approfondito in queste pagine è quello della maturazione della bacca. Le bacche rappresentano una sorta di sensore che la pianta utilizza per valutare l'impatto del clima sulla sua fisiologia e sviluppare così delle strategie di adattamento. Questa capacità delle piante di produrre fenotipi alternativi è nota come "plasticità fenotipica" ed è stata associata recentemente alle variazioni epigenetiche indotte dall'ambiente.

Si può pensare ad un vitigno come un organismo che ha un hardware genetico di DNA privo di istruzioni per l'uso e che nel rapporto con l'ambiente nel quale vive, il DNA crea il software per il proprio funzionamento. Il DNA impara semplicemente vivendo. Questi cambiamenti sono in parte ereditabili e sono dovuti a piccole molecole che interagiscono con il DNA e che su di esso iscrivono il vissuto dell'organismo. "Su" di esso, "epi"- genetica, appunto.

Il meccanismo epigenetico induce e fissa i cambiamenti molto più rapidamente di quanto possano fare meccanismi di mutazione formale. Una sorta di imprinting, di memoria. Si realizza attraverso la metilazione del DNA che produce i fenotipi modificati.

Il Sangiovese, diffuso in molti ambienti del nostro paese, da nord a sud, chiamato localmente con nomi diversi (Prugnolo gentile, Brunello, Morellino, Sanvicetro, Sangiovetto) è un esempio di questa variabilità epigenetica che ha prodotto tratti genetici e fenotipici leggermente differenti da quelli della pianta madre e portato alla formazione di biotipi che meglio si adattano non solo ai diversi terroir italiani di coltivazione ma fornendo anche ai viticoltori una gamma di cloni molto articolata nella risposta al cambiamento climatico.

In "Maturazione e maturità del Sangiovese" approfondiamo questo tema grazie ai prestigiosi contributi dei docenti che hanno animato il dibattito nei giorni della Scuola.

Buona lettura.

Attilio Scienza

*Presidente Sanguis Jovis*



Scansiona il QR-Code per visualizzare la presentazione del volume.

In collaborazione con:



www.fondazionebanfi.it  
info@fondazionebanfi.it  
 Fondazione Banfi

