

LUIGI MOIO*

L'identità sensoriale varietale del vino: aspetti biochimici e tecnologici

L'AROMA DEL VINO E LE SUE ORIGINI

L'aroma del vino è dovuto alla presenza di alcune centinaia di molecole appartenenti a diverse classi chimiche che ne costituiscono la frazione volatile. Le concentrazioni dei composti volatili possono variare da frazioni di ng/L fino a diversi mg/L. La conseguenza di tale variabilità di natura chimica e di concentrazione si traduce in un contributo sensoriale molto variabile sia per la qualità che per l'intensità odorosa. Le soglie olfattive di tali composti possono infatti differire notevolmente, pertanto alcuni composti presenti in tracce possono svolgere un ruolo chiave nell'espressione dell'aroma di un vino, mentre altri, seppure più abbondanti, possono intervenire in misura minore. Il contributo di ogni molecola volatile all'aroma del vino dipende, inoltre, dalla sua struttura e quindi dalla sua natura chimica e proprietà chimico-fisiche. Le molecole volatili fino a oggi identificate nella frazione volatile del vino appartengono essenzialmente alle seguenti classi chimiche: esteri, alcoli, terpeni, acidi, lattoni, aldeidi, chetoni, acetali, fenoli, composti azotati, solforati e ossigenati.

La complessità dell'aroma del vino e le difficoltà riscontrabili nel suo studio sono conseguenza della grande variabilità appena descritta ma anche della diversità delle numerose trasformazioni biologiche, biochimiche e tecnologiche che intervengono nella sua genesi. I principali meccanismi coinvolti sono: il metabolismo dell'uva, influenzato dalla varietà, ma anche dalle condizioni pedoclimatiche, dalle pratiche viticole, dal grado di maturazione e dallo stato sanitario della materia prima; i fenomeni ossidativi e idrolitici pre-fermentativi che accompagnano la pigiatura e la macerazione delle uve; i metabolismi

* *Dipartimento di Agraria - Università degli Studi di Napoli Federico II*

primari e secondari dei microrganismi che conducono la fermentazione alcolica e la fermentazione malolattica; i processi di cessione e ossidazione che intervengono in caso di affinamento del vino in fusti di legno; le reazioni chimiche ed enzimatiche post-fermentative che hanno luogo durante la conservazione del vino e durante il suo invecchiamento in bottiglia.

L'IDENTITÀ SENSORIALE DEL VINO

Tra i composti volatili che costituiscono l'aroma del vino, le molecole odorosamente attive che provengono dall'uva e che sono espressione caratteristica della varietà, giocano un ruolo determinante nella tipicità e nella qualità dei vini, di cui costituiscono l'"aroma varietale". Il concetto di aroma varietale, introdotto da Cordonnier nel 1956, mette in luce l'esistenza di un legame tra alcuni caratteri olfattivi e aromatici tipici delle uve e dei vini di determinate varietà, e la presenza di alcuni costituenti volatili non necessariamente esclusivamente tipici di quelle varietà, ma in esse presenti in concentrazioni tali da influenzarne in maniera determinante il carattere sensoriale. Bisogna inoltre precisare che esiste una differenza sostanziale nel processo di formazione dell'aroma varietale, a seconda che si parli di vini ottenuti da "uve aromatiche" o da "uve neutre". Nel caso delle prime una larga parte dei composti responsabili dell'aroma varietale è infatti già presente in forma odorosamente attiva nelle uve, e pertanto i mosti ottenuti da tali uve possono già presentare parzialmente espressi i caratteri aromatici varietali tipici dei vini finiti, eccezion fatta per il contributo di alcune sostanze odorose che si formano in quantità più rilevanti nel corso dell'invecchiamento del vino. A tale proposito è possibile citare il caso del Moscato, il cui carattere aromatico varietale "floreale" dovuto all'elevata concentrazione di terpeni e in particolare di linalolo (Boidron et al., 1979), è percepibile nelle uve, nel mosto e nel vino; nel caso del Riesling, invece, il carattere varietale viene espresso soltanto dopo invecchiamento del vino con la comparsa di una caratteristica nota odorosa di kerosene la cui molecola responsabile è l'1,1,6-trimetil-1,2-diidronaftalene (TDN) (Simpson et al., 1978), appartenente alla classe chimica dei norisoprenoidi derivanti dalla degradazione dei carotenoidi. Diversamente, per le varietà di uva cosiddette neutre, esse non contengono significative quantità di composti odorosamente attivi e i mosti, caratterizzati da odori erbacei dovuti alle aldeidi a 6 atomi di carbonio, mancano di odore tipico. Ciononostante, da tali uve è possibile ottenere vini che già al termine della fermentazione alcolica sono dotati di caratteristiche di elevata tipicità aromatica che li rendono riconoscibili alla

degustazione. È il caso del Sauvignon blanc il cui aroma è caratterizzato dalla presenza di mercaptani (4-metil mercaptopentanone) responsabili della nota di frutto della passione che rende riconoscibile questo vino (Darriet, 1995); le metossipirazine sono all'origine degli odori vegetali (peperone verde) e speziati (pepe) nel caso dei vini Cabernet e Merlot (Bayonove et al., 1975); etil e metil cinnammati e antranilati sono responsabili delle spiccate note odorose di frutti rossi (cassis, amarena, ciliegia) dei vini ottenuti da uve Pinot noir (Moio e Etievant, 1995).

Quindi, il corredo genetico di una data varietà di uva può indurre diversi meccanismi per rendere l'aroma del corrispondente vino riconoscibile. La via più diretta è senza dubbio quella di indurre la produzione di alte concentrazioni di molecole odorose che siano completamente assenti o presenti in basse quantità in altre varietà: è il caso dei terpenoli per le uve moscato e aromatiche. Il secondo meccanismo prevede l'intervento di precursori specifici. In questo caso il mosto non ha particolari note aromatiche varietali, che invece, vengono successivamente espresse dopo la fermentazione alcolica o rivelate durante la maturazione: è il caso dei mercaptani, norisoprenoidi, metossipirazine, fenoli volatili, antranilati e cinnammati che rendono riconoscibili alla degustazione molti dei vini ottenuti dalle cosiddette "varietà internazionali" (Sauvignon, Chardonnay, Merlot, Cabernet, Pinot, ecc.). Esiste inoltre, un ulteriore meccanismo, molto meno diretto dei due precedenti, con cui i geni di una varietà di uva modulano la sintesi di aromi. La sintesi di amminoacidi e acidi grassi di una *cultivar* è in gran parte sotto controllo genetico. Queste molecole rappresentano i mattoni utilizzati dai lieviti per la costruzione di proteine e membrane, pertanto i lieviti avranno a disposizione materiale diverso al variare della varietà d'uva da cui è stato ottenuto il mosto in cui essi crescono. Poiché alcuni importanti aromi del vino sono prodotti secondari del processo di costruzione di proteine e membrane, il profilo di questi sottoprodotti è indirettamente controllato dal genoma della varietà d'uva. Questo meccanismo è quantitativamente il più importante nella differenziazione di vini prodotti da uve neutre, pertanto, non la composizione quantitativa assoluta, ma la composizione quantitativa relativa, ovvero le proporzioni tra diverse molecole d'aroma, rappresenta un criterio oggettivo per la classificazione dei vini in base alle origini varietali delle uve da cui sono stati prodotti (Ferriera, 2005). Da un punto di vista qualitativo, sulla base di quanto riportato, è possibile immaginare uno spazio sensoriale i cui contorni sono definiti dai vini a forte carattere varietale, e all'interno del quale si collocano diversamente i vini ottenuti da varietà neutre il cui carattere varietale non è attribuibile a uno o pochi composti, ma piuttosto a un equilibrio tra diverse

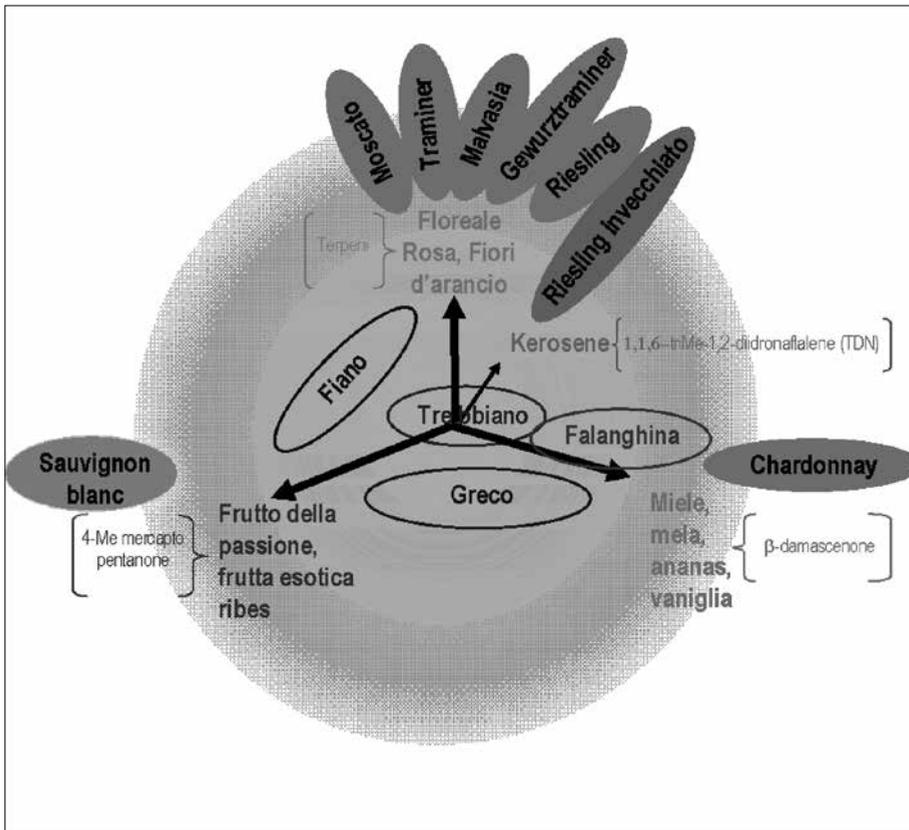


Fig. 1

molecole odorose responsabili di note varietali meno marcate e quindi più difficilmente riconoscibili.

Nel caso dei vini bianchi (fig. 1) le varietà che delimitano il perimetro di questo spazio sensoriale a tre vertici, grazie al loro spiccato carattere aromatico varietale e alle oramai note origini molecolari di tali note tipiche sono: i vini ottenuti da uve aromatiche quali Moscato, Traminer, Malvasia, Gewurztraminer, Riesling, caratterizzati essenzialmente da note floreali attribuibili alle alte concentrazioni di terpeni presenti in questi vini (Boidron et al., 1979); lo Chardonnay con i suoi odori di miele, vaniglia, mela, ananas, dovuti soprattutto alla formazione di norisoprenoidi, come il β -damascenone (Simpson et al., 1984), che derivano dalla degradazione dei carotenoidi delle uve; il Sauvignon blanc riconoscibile grazie alla caratteristica nota di frutto della passione, frutta esotica, dovuta alla presenza di mercaptani e in particolare del 4-metil mercaptopentanone (Darriet, 1995). All'interno di questo spazio sensoriale

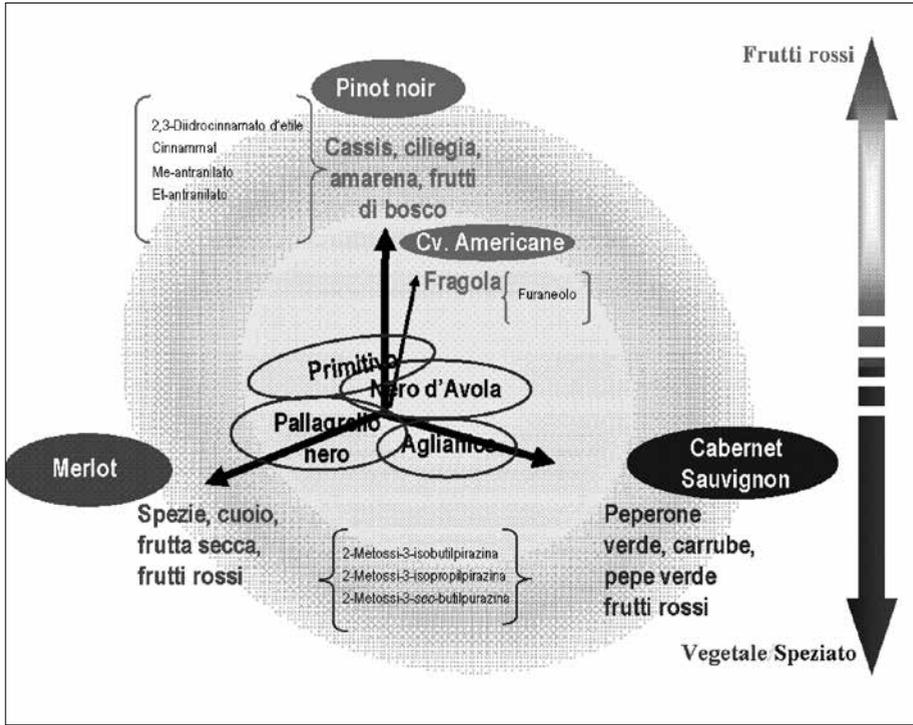


Fig. 2

è possibile individuare una posizione che ben definisce il carattere aromatico di qualsivoglia vino bianco. Il Trebbiano, ad esempio, è un vino al quale non è possibile riconoscere peculiarità aromatiche e pertanto, essendo dotato esclusivamente di aromi di fermentazione, può essere collocato al centro dello spazio sensoriale. Al contrario invece, i vini ottenuti dai tre vitigni bianchi autoctoni della Campania, Fiano, Greco e Falangina, se opportunamente vinificati, esprimono note aromatiche che li rendono riconoscibili e distinguibili tra loro, pertanto essi occupano posizioni diverse all'interno dello spazio sensoriale definito per i vini bianchi.

Nel caso dei vini rossi (fig. 2), ai vertici dei vettori che definiscono questo nuovo spazio a tre dimensioni è possibile immaginare: il Pinot noir caratterizzato da forti odori di frutti rossi (cassis, amarena, ciliegia) dovuti a etil- e metil-cinnammati e antranilati (Moio e Etievant, 1995); il Cabernet Sauvignon caratterizzato da note vegetali di peperone verde; il Merlot con le sue note speziate di pepe e di cuoio. Alcune metossipirazine sono fortemente coinvolte nell'espressione delle note aromatiche tipiche di questi ultimi due vini (Bayonove et al., 1975). È possibile quindi dire che lo spazio sensoriale al quale

appartengono i vini rossi è dominato da note aromatiche di frutti rossi (alle quali contribuisce anche l'odore di fragola dovuto al furaneolo, identificato per la prima volta nel 1980 da Rapp et al. nelle *cultivar* americane, ma successivamente rilevato come composto odorosamente attivo anche in diverse varietà rosse di *vitis vinifera* e da odori vegetali/speziati. All'interno di questo spazio sensoriale è possibile individuare la posizione che meglio esprime il carattere aromatico di ciascun vino rosso, come esemplificato in figura 2 per alcuni importanti vini rossi del sud Italia.

COME È POSSIBILE SPIEGARE LA COMPARSA
DI NOTE AROMATICHE VARIETALI DOPO LA FERMENTAZIONE ALCOLICA
E/O DOPO L'INVECCHIAMENTO DEL VINO?

Si è visto che, pur in assenza di significative quantità di composti volatili varietali nel mosto, durante il processo di vinificazione si instaurano trasformazioni chimiche e biochimiche che portano alla formazione di caratteri sensoriali riconducibili al tipo di uva vinificata.

In uno studio del 1974 venne osservata per la prima volta, dopo riscaldamento, la formazione di composti volatili varietali in mosti di uva preventivamente privati dalla frazione volatile (Cordonnier e Bayonove, 1974). Un effetto simile si osservava dopo trattamento con enzimi glicosidasi, evidenziando nei mosti d'uva la presenza di precursori d'aroma (fig. 3). Successivamente, diversi studi hanno dimostrato la presenza nelle uve di precursori d'aroma non odorosi in grado di rilasciare nel corso della vinificazione e/o dell'invecchiamento del vino, composti volatili coinvolti nell'espressione del carattere aromatico varietale del vino (Williams, 1992). Sia nelle uve aromatiche che in quelle neutre una larga parte della componente aromatica varietale è infatti presente sottoforma di precursori glicosidici non volatili e quindi odorosamente inattivi. Tali precursori sono costituiti da una frazione potenzialmente odorosa comunemente detta aglicone, legata con un legame β -glicosidico a un residuo zuccherino. Nel corso della maturazione il contenuto di glucosidi appartenenti a diverse classi di composti volatili, aumenta sia nelle foglie che negli acini, accumulandosi, nel caso di questi ultimi, principalmente a livello della buccia. Sebbene la maggior parte dei precursori aromatici sinora identificati nell'uva sia di natura glicosidica, esistono evidenze della formazione di importanti composti volatili a partire da precursori non glicosidici presenti nell'uva. Gli acidi ferulico e *p*-cumarico sono due di questi: da essi, durante i processi fermentativi e a seguito dell'attacco di mi-

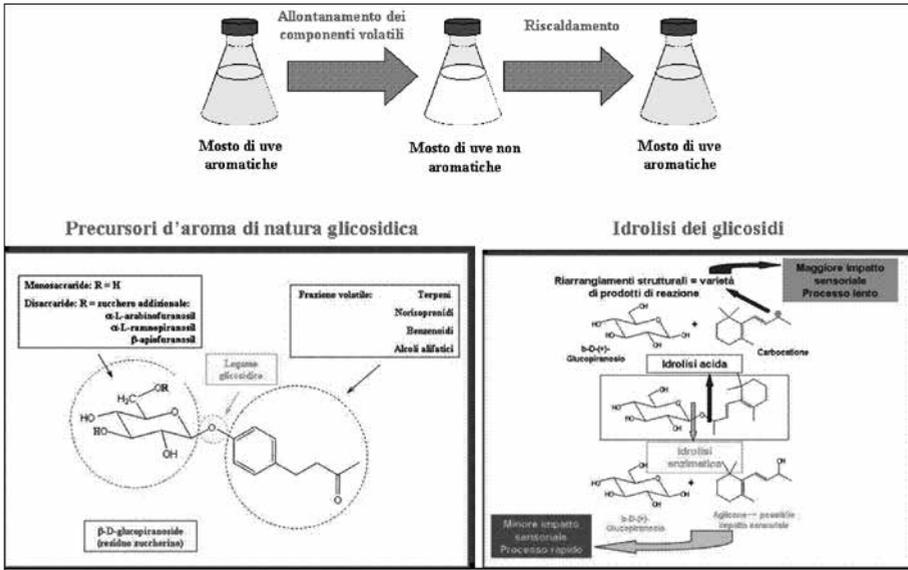


Fig. 3

croorganismi della specie *Brettanomyces*, possono formarsi composti volatili a elevata attività odorosa, quali etil e vinilfenoli responsabili di odori sgradevoli (medicinale – cavallo) che a basse concentrazioni possono tuttavia essere correlati a odori positivi quali speziato, affumicato, legno (Dubois et al., 1971; Chatonnet et al., 1992). Recentemente la presenza di precursori non glicosidici di composti solforati a elevatissimo impatto odoroso è stata riportata in uve della varietà Sauvignon blanc (Tominaga et al., 1998). Tali composti sono caratterizzati da strutture chimiche in cui la frazione volatile è legata a un residuo di cisteina, e da essi possono originarsi mercaptani. Un aspetto di estremo interesse enologico nella genesi di tali composti volatili a partire dai rispettivi precursori è legato al fatto che numerosi ceppi di lievito possiedono enzimi in grado di degradare il precursore cisteinico portando alla liberazione della frazione volatile, con conseguente incremento dell'aroma varietale nel corso della fermentazione alcolica (Tominaga et al., 1998).

La presenza di composti volatili derivanti dall'uva presenti sottoforma di precursori non odorosi e poi rilasciati e resi olfattivamente attivati nel corso della vinificazione e/o dell'invecchiamento del vino, ne determina un interessante aumento della complessità aromatica. Nel corso dell'invecchiamento il basso pH determina una degradazione degli esteri di fermentazione, pertanto il loro contributo sensoriale diminuisce notevolmente. Parallelamente gli aromi varietali presenti sottoforma di precursori, in particolare terpeni e

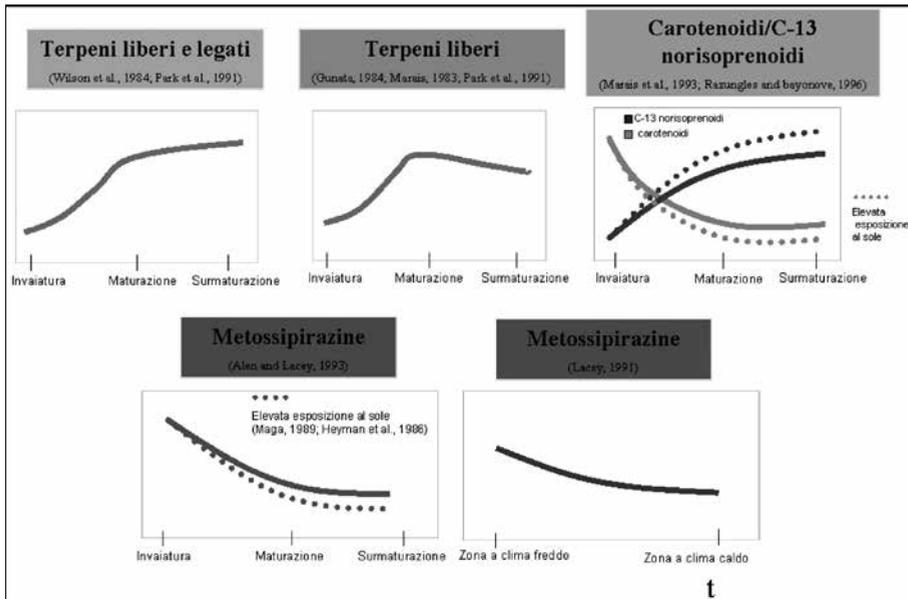


Fig. 4

norisoprenoidi vengono gradualmente rilasciati e possono quindi contribuire al profilo aromatico globale, determinando un aumento della complessità e della specificità aromatica del prodotto. Con il progredire dell'invecchiamento quindi, il carattere aromatico del vino si modifica passando da un aroma di natura principalmente fermentativa a uno più complesso, fortemente influenzato da componenti aromatiche varietali tipiche dell'uva di origine (Moio et al., 2000).

Terpeni, norisoprenoidi, pirazine, composti solforati, antranilati, fenoli e lattoni sono fino a oggi le classi chimiche di composti maggiormente coinvolte nell'aroma varietale del vino.

ESPRESSIONE E PERCEZIONE DELL'AROMA VARIETALE I FATTORI CHE INFLUENZANO L'AROMA VARIETALE NELL'UVA

Il profilo compositivo qualitativo dei composti odorosi che provengono dall'uva, caratteristici della varietà e quindi responsabili dell'aroma varietale, è sotto controllo genetico; da un punto di vista quantitativo, invece, tale composizione è fortemente influenzata da fattori ambientali (esposizione, clima, terreno) che condizionano la produttività quantitativa e qualitativa della vite

in una determinata area geografica e da cui dipendono anche il grado di maturazione delle uve e il loro stato sanitario.

Studi condotti su *cultivar* internazionali (fig. 4), riportano che nel corso della maturazione, a partire dall'invaiaitura, negli acini si riscontrata un accumulo di terpenoli liberi e legati (Ribéreau-Gayon et al., 1998); in fase di surmaturazione alcuni autori hanno riportato una diminuzione delle forme libere antecedente alla fine dell'accumulo di zuccheri nella baccia (Gunata, 1984), altri hanno osservato un lieve aumento anche in surmaturazione (Wilson et al., 1984; Park et al., 1991) suggerendo che la temperatura a cui avviene la maturazione è un fattore fortemente condizionante. Una evoluzione analoga è stata riscontrata per i norisoprenoidi come conseguenza della diminuzione dei carotenoidi a partire dall'invaiaitura. L'intervento degli enzimi dell'uva nella degradazione ossidativa dei carotenoidi e poi nei meccanismi di glicosilazione è all'origine di tali trasformazioni, incentivate dall'esposizione delle uve al sole (Razungles e Bayonove, 1996). Cinetiche di maturazione praticamente opposte sono state riscontrate nel caso delle metossipirazine: i tenori più importanti sono stati rilevati nelle uve non mature, con una progressiva diminuzione nel corso della maturazione (Allen e Lacey, 1993), aggravata dall'esposizione al sole, a causa della sensibilità di questi composti alla luce (Maga, 1989; Heyman et al., 1986). Oltre alle condizioni climatiche anche la natura del terreno e la sua influenza sul vigore della vite sembrano influenzare la concentrazione di metossipirazine: terreni calcarei e argillo-terrosi producono Cabernet Sauvignon e Merlot con più spiccate note vegetali di peperone verde di cui le metossipirazine sono responsabili (Ribéreau-Gayon et al., 1998).

In un recente studio condotto sulle tre uve bianche non aromatiche autoctone della Campania, Fiano, Greco e Falangina (Moio et al., in press), è stata seguita l'evoluzione di terpenoli liberi e legati, carotenoidi e norisoprenoidi durante la maturazione (fig. 5): il tenore in terpenoli liberi e legati tende a un aumento graduale in modo particolare tra il sessantesimo e l'ottantesimo giorno dopo la fioritura raggiungendo una certa stabilità nella fase successiva, fatta eccezione per i terpenoli legati dell'uva Falangina che mostrano un incremento lungo tutto il corso della maturazione; per quanto riguarda la degradazione dei carotenoidi e la conseguente formazione di norisoprenoidi le tre varietà mostrano comportamenti simili, con il Fiano che raggiunge il più alto tenore di norisoprenoidi.

Le uve Fiano sono state l'oggetto di indagine di un ulteriore studio volto a determinare l'influenza della surmaturazione sulla composizione della frazione volatile e sulla qualità sensoriale del vino (Genovese et al., submitted).

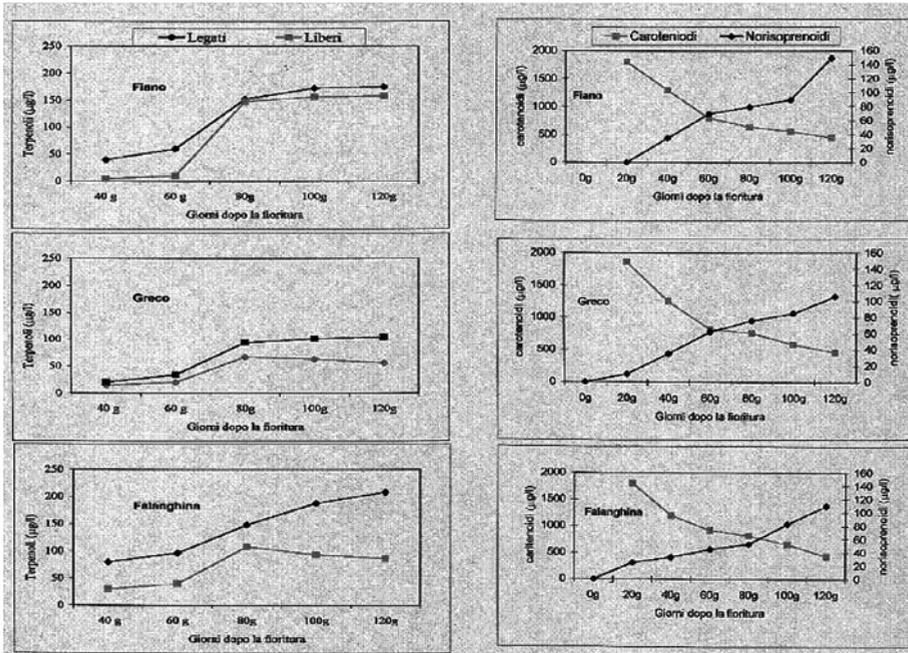


Fig. 5

L'analisi quantitativa descrittiva (fig. 6A) ha messo in evidenza il maggiore impatto sensoriale dei descrittori confettura di agrumi, albicocca secca, fichi secchi, prugna, miele e noce di cocco nel vino Fiano dolce rispetto al vino Fiano ottenuto da uve non surmature. Inoltre in quest'ultimo sono state rilevate minori concentrazioni di 35 composti volatili tra i quali terpeni, lattoni, aldeidi, chetoni e β -damascenone. Al contrario, maggiori concentrazioni di terpeni, β -damascenone, alcol benzilico, e 2-feniletanolo sono state rilevate nella frazione legata del vino Fiano dolce. Il composti con il più alto impatto olfattivo (fig. 6B) in quest'ultimo vino sono stati nerolo, geranilo e linaiolo (fiori d'agrumi), vitispirano (canfora), lattoni come il γ -nonalattone (cocco), δ - e γ -decalattone (albicocca) e l'1-octen-3-olo (funghi). Questi risultati dimostrano che la surmaturazione delle uve e il conseguente processo di disidratazione che l'accompagna, determina una concentrazione dei composti aromatici varietali e facilita il loro trasferimento dalla bucce al mosto.

Un ulteriore fattore che influenza l'espressione dell'aroma varietale dell'uva è certamente il suo stato sanitario (Fernandez, 2003). Eventi climatici estremi, minando l'integrità delle bacche favoriscono lo sviluppo di flora microbica indesiderata e quindi l'insorgere di malattie del grappolo. La *Botrytis*

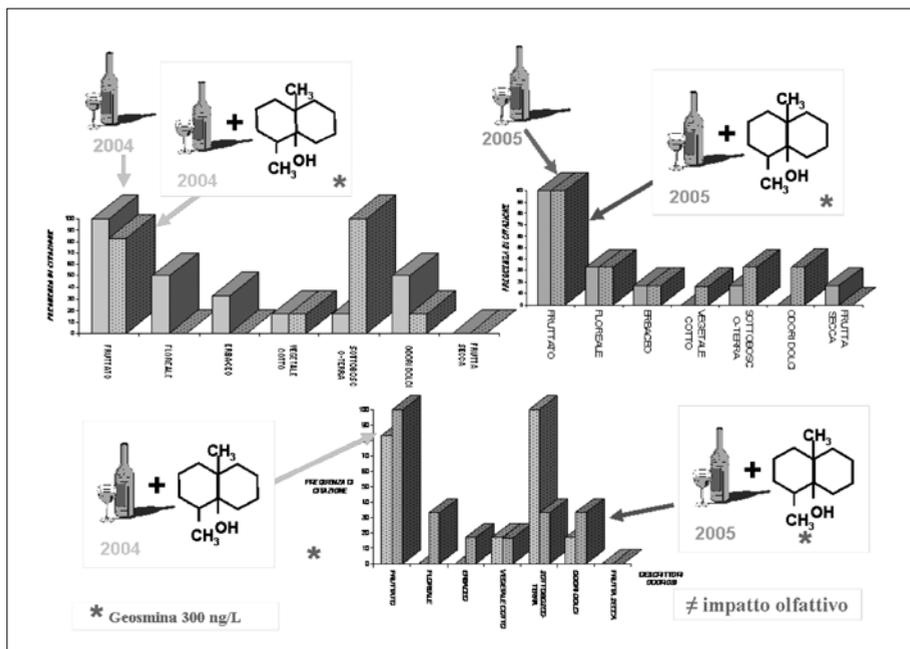


Fig. 7

caratterizzata da una bassa soglia di percezione (10 ng/L in acqua; 40 ng/L in vino modello; 40-50 ng/L in vino bianco; 50-80 ng/L in vino rosso) e da una alta stabilità nel corso della fermentazione e della conservazione (La Guerche, 2005b). Allo scopo di valutare l'influenza della geosmina sull'aroma del vino bianco, due vini Falangina di annate diverse (2004 e 2005) sono stati addizionati con 300 ng/L di geosmina e analizzati mediante analisi quantitativa descrittiva. I profili sensoriali così ottenuti (frequenze di citazione) sono stati confrontati con quelli relativi agli stessi vini privi di difetto. I risultati (fig. 7) mostrano che la presenza del difetto di odore di terra dovuto all'aggiunta di geosmina ha avuto una forte influenza sul profilo d'aroma dei vini esaminati, in particolar modo per il vino meno giovane (2004) determinando una forte dominanza dell'odore di terra-sottobosco, accompagnata da significativa diminuzione dei descrittori fruttati e dolci e un totale appiattimento delle note floreali ed erbacee. Nel vino più giovane (2005), dominato dalle note fruttate dovute alle alte concentrazioni di esteri, l'aggiunta di geosmina ha avuto un impatto meno drastico provocando la comparsa delle note di terra-sottobosco e vegetale cotto e l'abbattimento delle note di frutta secca. Questi risultati suggeriscono che a parità di concentrazione, la comparsa del difetto di odore di terra dovuto alla geosmina ha un diverso impatto olfattivo su

vini dalla diversa complessità aromatica. Gli aromi di fermentazione di cui sono ricchi i vini giovani riescono a mascherare parzialmente e ad attutire l'intensità del difetto di odore di terra, pertanto non è consigliabile sottoporre a invecchiamento i vini affetti da questo off-flavour. Poiché l'invecchiamento influisce fortemente sull'espressione del potenziale aromatico varietale dei vini ottenuti da uve neutre, è possibile concludere che l'impiego di uve sane costituisce un presupposto fondamentale per l'ottenimento di vini dal forte carattere varietale.

COME FAVORIRE L'ESPRESSIONE DELLE CARATTERISTICHE AROMATICHE VARIETALI E MODULARE IL POTENZIALE DI INVECCHIAMENTO DEI VINI?

Sulla scorta di quanto detto, l'ottenimento di vini con elevate caratteristiche di tipicità e complessità aromatiche è legato all'impiego di tecniche di vinificazione attraverso le quali sia possibile ottimizzare il contributo delle componenti aromatiche di fermentazione e varietale in funzione della tipologia di prodotto che si desidera ottenere.

Bisogna inoltre considerare che lo sviluppo di una tecnologia di vinificazione specifica per una determinata varietà di uva presenta problematiche diverse a seconda che si tratti di uve aromatiche o uve neutre. Nel primo caso, fattori viticoli quali sanità e grado di maturazione della materia prima, restano importanti ma difficilmente compromettono la riconoscibilità del prodotto finale; nel secondo caso invece, gli stessi fattori viticoli (buono stato sanitario e buon grado di maturazione) rappresentano requisiti fondamentali per consentire da un lato la massima sintesi possibile di aromi legati al corredo genetico e quindi alla varietà di uva, e dall'altro lato per prevenire la produzione di molecole responsabili di difetti di odore che oltretutto, in un vino neutro avrebbero un maggior impatto sensoriale rispetto a un vino ottenuto da uve aromatiche. A questo punto, nella produzione di vini ottenuti da uve neutre, se da un punto di vista viticolo, l'obiettivo deve essere quello del controllo della qualità della materia prima al fine di avere la massima sintesi di aromi sotto controllo genetico, da un punto di vista tecnologico, tutto deve essere concepito in modo da preservare al massimo queste molecole, sia da un punto di vista quantitativo che qualitativo, cercando di ottenere la massima estrazione dalle uve ed evitando e prevenendo qualsiasi fenomeno degradativo.

A tale proposito, nel corso degli ultimi anni sono state condotte prove sperimentali di vinificazione volte all'individuazione di pratiche enologiche

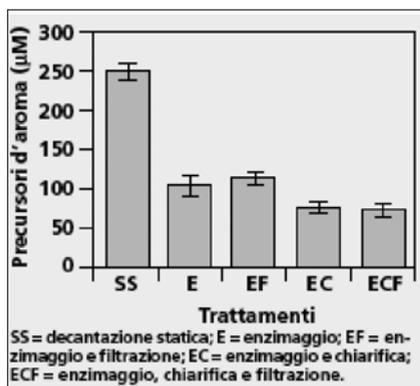


Fig. 8

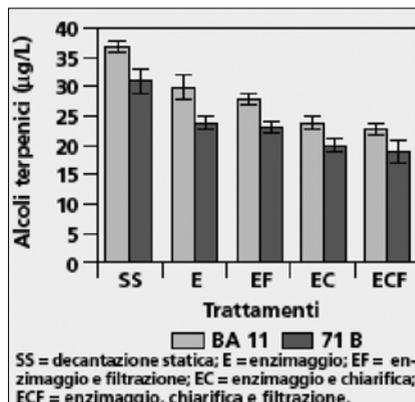


Fig. 9

in grado di migliorare l'espressione delle caratteristiche aromatiche varietali e il potenziale di invecchiamento di vini bianchi e rossi ottenuti da *cultivar* autoctone dell'Italia meridionale.

Alcune di queste prove sperimentali sono state finalizzate alla valutazione dell'influenza del trattamento di chiarifica prefermentativa sulla frazione aromatica varietale del vino (Moio et al., 2002 e 2004). I trattamenti di enzimaggio e chiarifica (EC) e di enzimaggio, chiarifica e filtrazione (ECF) sono stati realizzati impiegando una miscela di chiarificanti (bentonite, caseina, gelatina, gel di silice). Le analisi condotte sui campioni di mosto hanno evidenziato una forte influenza del tipo di trattamento sul contenuto di precursori d'aroma, in particolare per i mosti ottenuti mediante l'impiego di chiarificanti (fig. 8). Al termine della fermentazione alcolica i vini ottenuti mediante i trattamenti EC ed ECF sono risultati caratterizzati dalla minor concentrazione di terpeni presenti in forma odorosamente attiva (fig. 9). L'impiego di trattamenti spinti di chiarifica del mosto determina, dunque, una riduzione della concentrazione di importanti composti volatili varietali del vino, con una conseguente riduzione della complessità e della tipicità aromatiche. Allo stesso modo, la concentrazione di precursori d'aroma glicosidici dei vini è correlata negativamente all'intensità del trattamento di chiarifica e dunque trattamenti più spinti determinano una diminuzione del potenziale di invecchiamento del vino Falangina (fig. 10).

Anche in assenza di affinamento in fusti di legno, il vino contenuto in contenitori inerti, acciaio inox o vetro, va incontro ad alcune trasformazioni, in particolar modo di natura ossidativa. A tale proposito sono state condotte prove sperimentali che hanno consentito di valutare l'effetto della protezione antiossidante del mosto sulla composizione della frazione volatile e sulla shelf

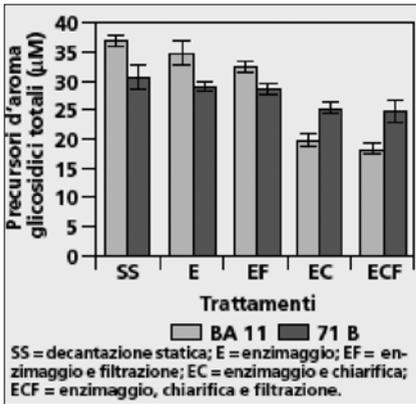


Fig. 10

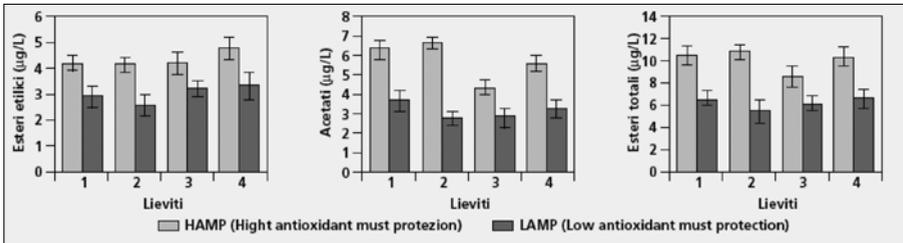


Fig. 11

life aromatica del vino Falangina (Moio et al., 2004). Le prove di vinificazione sono state condotte su volumi di 100 L. Per la vinificazione a «elevata protezione antiossidante» HAMP (Hight autioxidant must protection) è stata realizzata una protezione antiossidante del mosto, data dall'impiego di elevate dosi di SO_2 e acido ascorbico. Inoltre, le fasi di diraspapigiatura e chiarifica sono state condotte in atmosfera di azoto. L'impiego di un'elevata protezione antiossidante del mosto ha determinato un significativo aumento della concentrazione di esteri prodotti dai lieviti durante la fermentazione alcolica (fig. 11). Tali componenti sono direttamente correlati al carattere fruttato dei vini giovani, ed è dunque probabile che un loro incremento determini una maggiore intensità aromatica del vino. La figura 12 mostra l'evoluzione di diverse classi di composti volatili durante l'invecchiamento del vino Falangina. Dopo 14 mesi, i vini ottenuti con tecnologia a «bassa protezione antiossidante» LAMP (Low antioxidant must protection) hanno mostrato un contenuto di esteri pari a quello presente nei vini HAMP all'inizio dell'invecchiamento. Inoltre, la tecnologia HAMP ha consentito di preservare con maggiore efficacia importanti composti varietali come il linalolo, rallentando

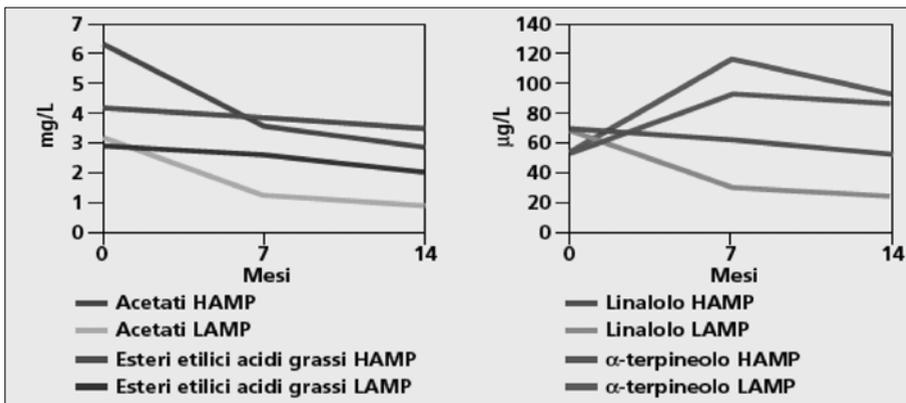


Fig.12

la trasformazione di questo in α -terpineolo, dotato di un minor impatto sensoriale. La protezione antiossidante del mosto rappresenta, quindi, un'interessante opzione per l'incremento del contributo della componente aromatica di fermentazione al profilo aromatico di insieme del vino, nonché per un migliore controllo dell'evoluzione della componente aromatica varietale nel corso dell'invecchiamento.

Sempre in merito alla protezione antiossidante, recentemente sono stati riportati alcuni risultati relativi al ruolo del glutatione, sull'evoluzione aromatica di vini bianchi secchi, e in particolare sulla prevenzione dell'invecchiamento prematuro (Lavigne-Cruege e Bertrand, 2005). Il glutatione è un peptide presente in quantità importanti nelle uve (Cheynier et al., 1989). Nel mosto esso tende a diminuire a seguito di una forte reattività nei confronti dell'ossigeno e dei composti fenolici in esso contenuti. Tuttavia, è stato possibile arrestare questa diminuzione fino ad arrivare a un nuovo aumento della concentrazione di glutatione durante la fermentazione alcolica mediante solfitazione del vino, mettendo così in evidenza la presenza nei mosti e nei vini a inizio giovani di quantità non trascurabili di glutatione nella sua forma ridotta. (Lavigne-Cruege e Bertrand, 2005). Allo scopo di dimostrare l'effetto protettore del glutatione sull'evoluzione del colore e degli aromi del vino bianco, gli stessi autori hanno dosato in vino Sauvignon conservato in *barriques* nuove o usate, in presenza o in assenza di fecce, il tenore in glutatione, i tioli volatili (4-metil-4-mercaptopentanone e 3-mercaptoesano-1-olo che sono composti chiave dell'aroma varietale del vino Sauvignon) e il sotolone a fine conservazione. I risultati hanno dimostrato che le condizioni più favorevoli per preservare la qualità sensoriale del vino bianco secco sono quelle che li-



Fig. 13

mitano la diminuzione di glutazione (la presenza di fecce in *barriques* usate) e che l'aggiunta in bottiglia di 10mg/L di glutazione ha limitato l'imbrunimento del vino bianco Sauvignon, la diminuzione dei suoi caratteri aromatici varietali e la tendenza a un invecchiamento difettoso.

Nell'ambito delle prove sperimentali di vinificazione volte all'individuazione di pratiche enologiche in grado di migliorare l'espressione delle caratteristiche aromatiche varietali dei vini, è stato studiato il contributo della fermentazione malolattica (FML) all'espressione delle caratteristiche aromatiche varietali del vino. Simulando in condizioni controllate (sistema modello) il processo di FML è stata seguita l'idrolisi di precursori d'aroma glicosilati durante il suo corso (Ugliano et al., 2003; Ugliano e Moio, 2003). La capacità di quattro preparati commerciali di batteri lattici *Oenococcus oeni* (EQ 54, Lalvin O.S.U., Uvaferm Alpha e Lalvin 31) di idrolizzare precursori d'aroma glicosilati del vino è stata valutata in un sistema modello contenente precursori estratti da vino Moscato (fig. 13). A pH 3,4 è stata osservata, per tutte le colture, una diminuzione della concentrazione di precursori, accompagnata da un proporzionale aumento dei relativi composti volatili (fig. 14). Quando la fermentazione malolattica è stata condotta a pH 3,2, è stata osservata una

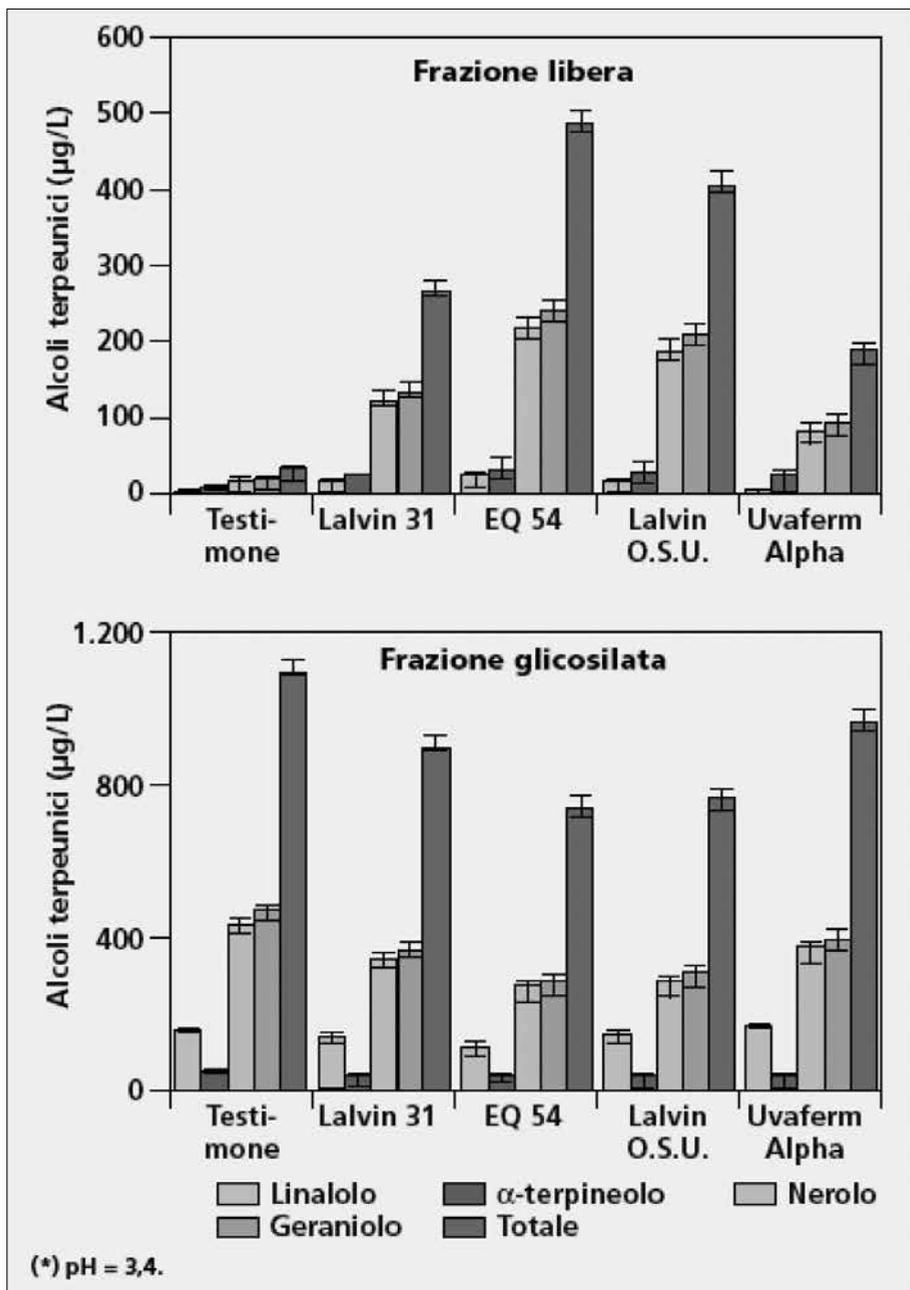


Fig.14

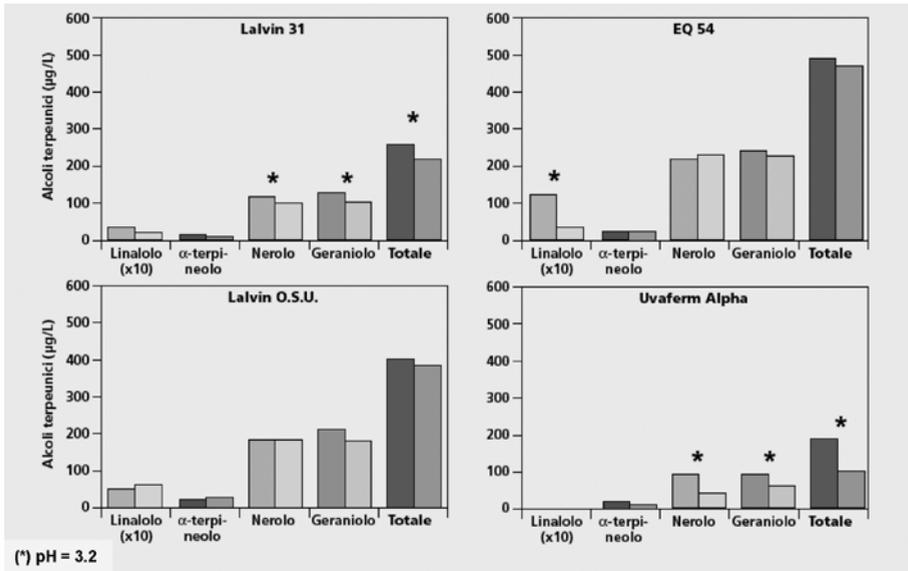


Fig.15

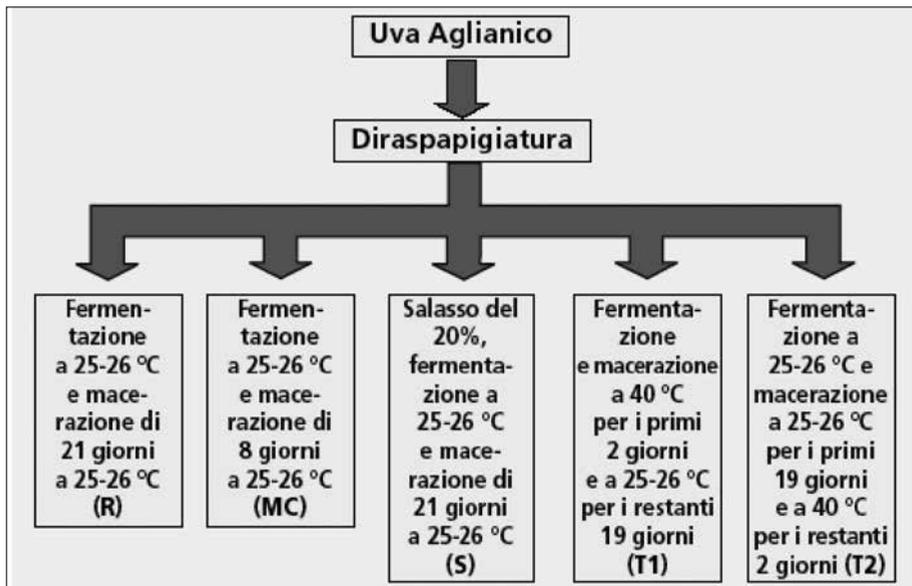


Fig.16

diminuzione della capacità idrolitica per i preparati Uvaferm Alpha e Lalvin 31 (fig. 15). Le concentrazioni di composti volatili rilevate nei vini sinteti-

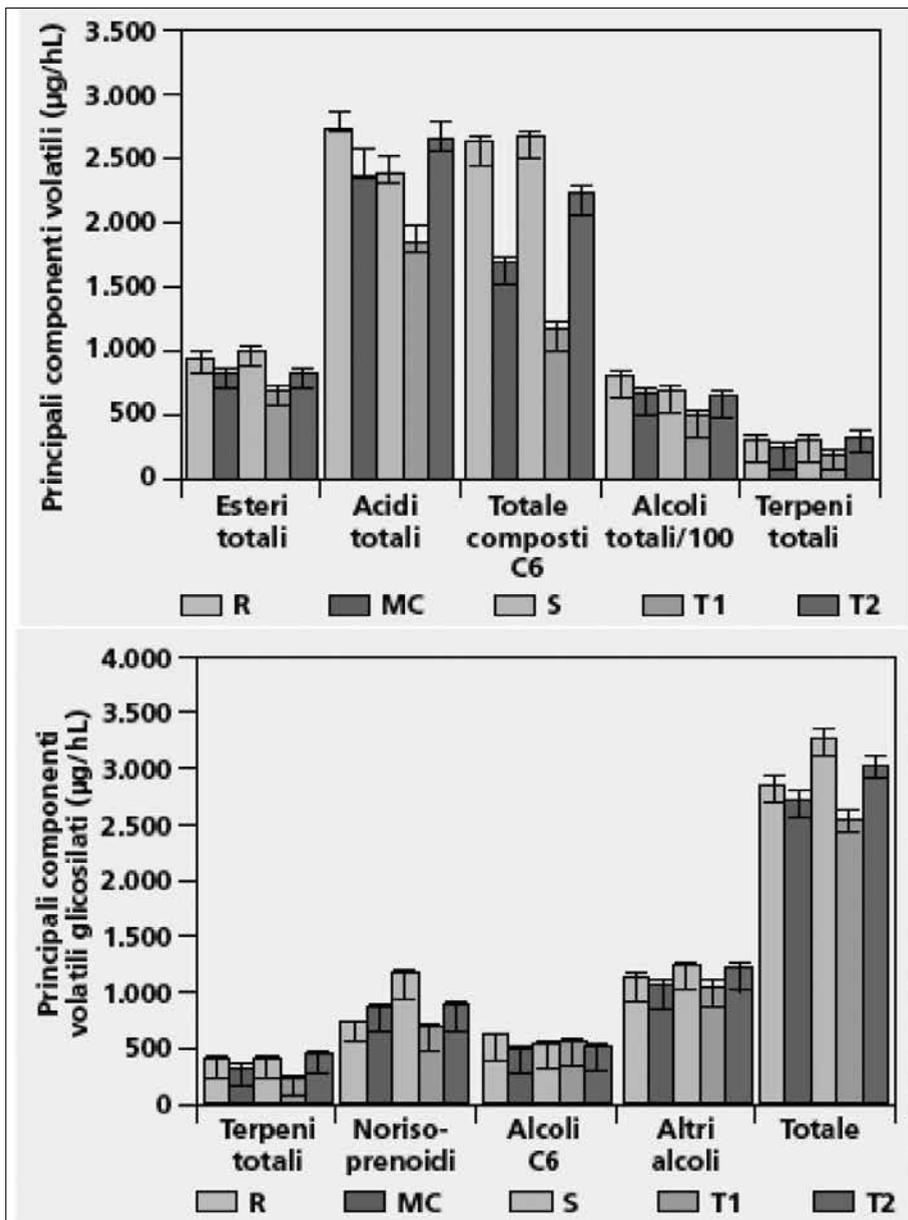


Fig.17

ci al termine della fermentazione malolattica suggeriscono che *O. oeni* è in grado di modificare le caratteristiche sensoriali del vino attraverso l'idrolisi

dei precursori d'aroma glicosilati, contribuendo all'espressione del potenziale aromatico varietale.

Per quanto concerne la vinificazione in rosso, è stata studiata l'influenza delle modalità di conduzione della macerazione sulla concentrazione di composti volatili e dei relativi precursori nel vino Aglianico (Ugliano et al., 2004). È stato seguito il protocollo sperimentale riportato nella figura 16. Tutte le vinificazioni sono state condotte mediante inoculo con lieviti secchi attivi. Al termine della fermentazione il vino ottenuto per sgrondatura è stato assemblato con quello proveniente dalla pressatura soffice delle vinacce e si è poi proceduto all'imbottigliamento. I dati relativi alla composizione della frazione volatile libera e legata dei vini sperimentali sono rappresentati in figura 17. Nel caso delle vinificazioni MC (fermentazione e macerazione di 8 gg a 25-26 °C) e S (salasso del 20%, fermentazione e macerazione di 21 gg a 25-26 °C) non è stata riscontrata, rispetto al testimone, una significativa influenza delle modalità di conduzione della macerazione sui principali costituenti della frazione volatile dei vini, mostrando una scarsa influenza della durata della macerazione e del rapporto solidi/liquidi rispettivamente, sulla concentrazione di composti volatili derivanti dal processo fermentativo.

Un maggiore impatto della modalità di conduzione della macerazione sulla composizione della frazione volatile è stato osservato nel caso dell'impiego di trattamenti termici durante la macerazione. In particolare, i dati relativi alla vinificazione condotta secondo i protocolli T1 (fermentazione e macerazione a 40 °C per i primi 2 gg e a 25-26 °C per i restanti 19 gg) e T2 (fermentazione e macerazione a 25-26 °C per i primi 19 gg e a 40 °C per i restanti 2 gg) hanno evidenziato una concentrazione in composti volatili prodotti dai lieviti significativamente inferiore a quella osservata nel campione di riferimento. Tale comportamento ha interessato anche alcuni composti volatili potenzialmente in grado di influenzare l'aroma del vino (esteri etilici degli acidi grassi, etil-2-metilbutanoato, etil-3-metilbutanoato, alcoli a 6 atomi di carbonio, 2-feniletanolo), probabilmente trascinati via dalle grandi quantità di CO₂ prodotte durante la rapida fermentazione e/o persi durante la fase più drastica del trattamento termico.

I vini ottenuti nelle condizioni sperimentali del protocollo MC (fermentazione e macerazione di 8 gg a 25-26 °C) sono risultati caratterizzati da una minore concentrazione di glicosidi rispetto al controllo (fig. 20). Al contrario, nel caso della vinificazione S (salasso del 20%, fermentazione e macerazione di 21 gg a 25-26 °C) è stato osservato un significativo aumento della concentrazione di composti volatili glicosilati, in particolare appartenenti alle classi chimiche dei terpeni e dei norisoprenoidi. Tali risultati contribuiscono a

spiegare la migliore attitudine all'invecchiamento osservata nei vini Aglianico ottenuti mediante salasso prefermentativo.

I risultati di questo studio evidenziano una notevole influenza di alcune modalità di conduzione della macerazione sulla composizione delle frazioni volatili, libera e glicosilata, di vini ottenuti da uve Aglianico. L'impiego del trattamento termico durante la macerazione, in particolare nel corso dei primi 2 giorni di macerazione, ha determinato una riduzione della concentrazione di alcuni composti volatili di fermentazione potenzialmente in grado di influenzare l'aroma del vino. Per quel che riguarda il tenore in precursori d'aroma glicosilati, il trattamento termico al termine della macerazione e l'incremento del rapporto solidi/liquidi hanno portato all'ottenimento di vini con maggiore concentrazione di glicosidi, mentre l'impiego delle alte temperature all'inizio della macerazione ha determinato una notevole riduzione della concentrazione di tali composti nel vino finito, probabilmente a causa dell'influenza della temperatura sul metabolismo dei lieviti.

Dopo la fermentazione il vino continua a subire importanti variazioni di composizione che ne influenzano il carattere sensoriale. Nuovi composti d'aroma possono formarsi e la concentrazione di altri può aumentare o diminuire con conseguenti effetti sulle caratteristiche aromatiche del prodotto, migliorandolo o anche peggiorandolo. Come riportato da Rapp e Marais (1993), i principali cambiamenti che i composti aromatici presenti in un vino subiscono durante la conservazione in bottiglia possono essere riassunti nei seguenti punti: variazione del contenuto in esteri, diminuzione di acetati, aumento di esteri etilici di acidi mono- e di-carbossilici, formazione di molecole derivanti dalla degradazione dei carboidrati (principalmente furani), reazioni acido catalizzate dei composti monoterpeneici con formazione di altri prodotti di natura terpenica (terpenoli, terpeni e ossidi terpenici), formazione di norisoprenoidi dalla degradazione dei carotenoidi. In particolare, le molecole volatili prodotte durante gli ultimi tre fenomeni degradativi appena riportati, sono coinvolte nell'espressione del potenziale aromatico varietale d'invecchiamento del vino. Poiché le cinetiche di queste reazioni sono fortemente condizionate dalla temperatura, la temperatura di conservazione del vino è un parametro molto importante per la modulazione dell'espressione dell'aroma varietale di un vino durante l'invecchiamento, e quindi per l'allungamento della sua shelf-life aromatica. In uno studio condotto su vino Chardonnay (De la Presa Owens et al., 1998) è stato riscontrato che un aumento della temperatura di conservazione da 5°C a 40°C ha portato a una sensibile diminuzione della note fruttate (agrumi, frutta tropicale, mela verde) e floreali e a un incremento degli attributi più complessi associabili a caratteri di invecchiamento (miele, burro/vaniglia, quercia e caucciù).

DURANTE LA DEGUSTAZIONE DI UN VINO,
QUANDO VENGONO PERCEPITE LE SUE NOTE AROMATICHE VARIETALI?

La degustazione di un vino è un esercizio complesso reso ancora più difficile dal fatto che la percezione gustativa e aromatica evolve continuamente durante la degustazione. La temporalità della percezione degli attributi sensoriali è stata sempre ritenuta dagli esperti di fondamentale importanza nella formulazione di un giudizio di qualità del vino. Recentemente, è stata sviluppata una metodica per la valutazione della dominanza temporale delle sensazioni (DTS) (Pineau et al., 2003; Pineau et al., 2004; Pineau et al., in attesa di pubblicazione) gustative e aromatiche per approfondire le conoscenze sull'evoluzione temporale delle percezioni di stimoli gustativi e olfattivi durante l'assaggio di alimenti e bevande. La DTS è una metodologia di analisi sensoriale che permette di elaborare simultaneamente, per un dato prodotto, curve temporali di circa 10 attributi sensoriali differenti consentendo una valutazione multipla dello stesso descrittore sensoriale durante una singola degustazione. A partire dal momento in cui il giudice introduce nella cavità orale il prodotto, gli viene chiesto di selezionare, tra una lista di diversi descrittori quello che ritiene dominante, di valutare l'intensità e ripetere l'operazione finché dura la percezione. Un attributo è considerato dominante, rispetto agli altri descrittori della lista, quando attira maggiormente l'attenzione del degustatore, a un certo tempo. Il degustatore è libero di selezionare diverse volte, durante la degustazione, lo stesso descrittore. I dati forniti dai diversi degustatori, per un certo prodotto, vengono elaborati in una sovrapposizione di curve di dominanza che descrivono l'evoluzione della frequenza della dominanza degli attributi sensoriali. Con questa metodologia è possibile conoscere, per un dato prodotto alimentare, il momento in corrispondenza del quale la percezione di un attributo sensoriale diventa dominante, la sua durata e il valore della sua intensità media.

Allo scopo di analizzare la dominanza temporale degli odori del vino, percepiti per via retronasale e valutare l'influenza della temporalità delle sensazioni sulla preferenza del vino, è stata condotta, con l'impiego della DTS, una sperimentazione su campioni di vini bianchi sperimentali ottenuti dalla vinificazione di uve Falangina (Pessina et al., in press; Pessina et al., informatore agrario). I risultati di questa sperimentazione hanno, tra le altre cose, consentito di individuare una fase della degustazione in cui è dominante la percezione delle note aromatiche varietali (fig. 18). I vini sono stati realizzati in modo da ottenere campioni differenti per la dominanza sensoriale di uno dei seguenti attributi d'aroma: floreale, fruttato, frutta secca e legno. A una

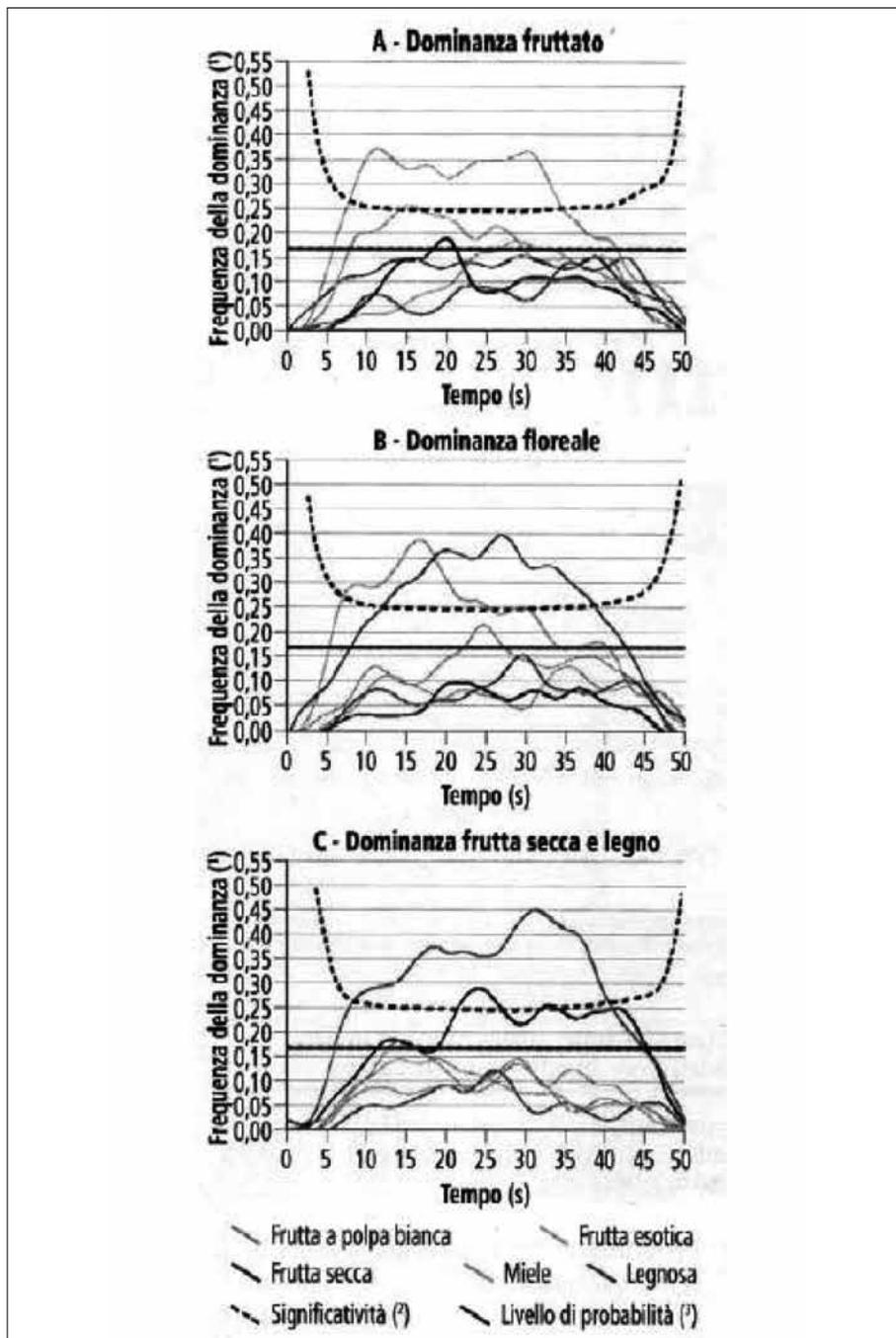


Fig.18

giuria di 15 degustatori è stato chiesto di valutare, per ciascun campione di vino, la dominanza temporale dei seguenti attributi d'aroma: frutta a polpa bianca, frutta esotica, frutta secca, floreale, miele e legnoso. Le curve di dominanza temporale dell'aroma, relative al campione di vino con aroma di frutta a polpa bianca (mela, banana) prevalente indicano che la percezione di questa nota aromatica è immediata, raggiungendo una dominanza massima intorno ai 10s. La dominanza dell'aroma di frutta a polpa bianca persiste, nel campione di vino analizzato, per circa 20s. L'aroma di mela e banana (frutta a polpa bianca) è essenzialmente legato a molecole di origine fermentativa e costituisce la «nota di testa» di un vino bianco. Esso viene percepito immediatamente nel momento in cui il vino viene introdotto nella cavità orale. Nel giro di una ventina di secondi tende ad attenuarsi svolgendo, tuttavia, un ruolo fondamentale nell'apprezzamento della qualità aromatica di un vino, in quanto «cattura» l'attenzione del degustatore. Per quanto concerne le note aromatiche di frutta esotica e floreale, il massimo della dominanza temporale della percezione sensoriale si manifesta, rispettivamente, intorno ai 15 e ai 26s. All'attenuazione delle note di frutta esotica corrisponde un incremento dell'aroma floreale con una durata di dominanza sensoriale che si prolunga fino a 35-40s. Gli aromi di frutta esotica e floreale risultano dominanti nella parte centrale del diagramma temporale della percezione. In particolare, la nota floreale, con la sua dominanza netta e prolungata, compresa tra 20 e 40s, esercita il ruolo di «nota di cuore», importante in quanto le molecole responsabili di tali note olfattive sono quelle maggiormente coinvolte nel riconoscimento sensoriale della varietà di uva di origine del vino bianco. Nelle curve di dominanza temporale del campione di vino bianco con prevalenza del carattere aromatico di frutta secca e legno, il massimo della dominanza temporale delle due distinte note aromatiche si verifica, rispettivamente, in corrispondenza di 24 e 32s. Le due tipologie di aroma sono risultate caratterizzate da un'elevata durata della dominanza temporale che si prolunga, in modo particolare, nella parte finale del diagramma di percezione. Tale comportamento, tende a inserire questi due aromi nella «nota di fondo» del vino, costituita dagli aromi più tenaci che conferiscono «profondità» alla qualità aromatica globale del vino.

CONCLUSIONI

I fattori che intervengono sull'espressione dell'aroma varietale sono molteplici e variabili dalle uve fino al vino imbottigliato e invecchiato.

Nelle uve la sintesi dei composti odorosi caratteristici della varietà e quindi responsabili dell'aroma varietale, è sotto controllo genetico, tuttavia le concentrazioni di tali molecole sono fortemente influenzate da fattori ambientali (esposizione, clima, terreno) da cui dipendono anche il grado di maturazione delle uve e il loro stato sanitario. Un aumento del grado di maturazione delle uve, fino ad arrivare alla surmaturazione, è positivamente correlato all'espressione dell'aroma varietale grazie all'aumento di terpeni liberi e legati, di carotenoidi, e a una maggiore estraibilità di aromi varietali dalle buccie. Un ulteriore fattore che influenza l'espressione dell'aroma varietale dell'uva è il suo stato sanitario: l'insorgere di malattie del grappolo determinando alterazioni fisiologiche causano una minore sintesi di aromi e favoriscono la produzione di molecole responsabili di difetti di odore, con conseguente diminuzione e/o mascheramento delle note aromatiche varietali.

L'ottenimento di vini con elevate caratteristiche di tipicità e complessità aromatiche è legato non solo alla qualità della materia prima, ma anche, e talvolta soprattutto, all'impiego di tecniche di vinificazione attraverso le quali sia possibile ottimizzare il contributo delle componenti aromatiche di fermentazione e varietale in funzione della tipologia di prodotto che si desidera ottenere. In tal senso, dati sperimentali hanno dimostrato che trattamenti di chiarifica prefermentativa troppo spinti, influiscono negativamente sul potenziale aromatico varietale del vino bianco, determinando una diminuzione della concentrazione dei terpeni liberi e quindi dell'aroma varietale espresso, e un contemporaneo abbattimento dei precursori d'aroma glicosidici che si traduce in un minore potenziale di invecchiamento del vino. Riguardo la vinificazione in rosso, risultati interessanti sono stati ottenuti sull'influenza delle modalità di conduzione della macerazione: trattamenti termici durante la macerazione provocano una diminuzione della concentrazione di alcuni composti volatili di fermentazione coinvolti nell'aroma del vino; alte temperature a inizio macerazione determinano un calo di glucosidi nel vino finito; trattamenti termici a fine macerazione producono vini con tenori maggiori di glucosidi. Ulteriori dati sperimentali, hanno dimostrato che non solo la fermentazione alcolica, ma anche la fermentazione malolattica è in grado di modificare le caratteristiche sensoriali del vino intervenendo sul processo d'idrolisi dei precursori d'aroma glicosilati, contribuendo così all'espressione del potenziale aromatico varietale. Una ulteriore interessante pratica per l'incremento del contributo della componente aromatica di fermentazione al profilo aromatico di insieme del vino, nonché per un migliore controllo dell'evoluzione della componente aromatica varietale nel corso dell'invecchiamento, è rappresentata dalla protezione antiossidante del mosto.

Alla luce di quanto detto, l'enologia varietale, intesa come sviluppo di pratiche viticole e di tecniche di vinificazione specifiche, assume una importanza diversa al variare delle uve a cui si riferisce: l'applicazione di pratiche specifiche su uve con spiccato carattere varietale, come Moscato, Cabernet, Merlot, ecc., non avrà una forte influenza sulla riconoscibilità dei corrispondenti vini, quanto piuttosto sulla loro qualità; diversamente, nel caso di uve neutre che non esprimono particolari note aromatiche, come tanti vitigni autoctoni italiani, lo sviluppo di specifiche tecniche di vinificazione rappresenta il mezzo per ottenere la massima espressione del potenziale aromatico e quindi la riconoscibilità del prodotto.

RIASSUNTO

I composti volatili responsabili delle caratteristiche aromatiche del vino sono numerosi e di diversa natura. Molti di essi, quelli quantitativamente più importanti, si originano nel corso della fermentazione alcolica. Tuttavia, le caratteristiche aromatiche dei vini e la loro specificità sensoriale sono spesso fortemente dipendenti da componenti volatili derivanti dall'uva. Questi composti odorosi vengono quindi generalmente definiti "varietali". Tra queste molecole ritroviamo terpeni, norisoprenoidi, pirazine, composti solforati, antranilati, fenoli e lattoni, notoriamente in grado di influenzare in maniera determinante l'odore del vino. Alcuni di essi sono presenti in larga parte sotto forma di precursori non odorosi e vengono rilasciati nel corso della vinificazione e/o dell'invecchiamento del vino, con conseguente aumento della complessità aromatica e del "carattere varietale".

Il successo commerciale di vini che esprimono una forte tipicità varietale e territoriale, rende di particolare interesse per la moderna tecnologia enologica, lo sviluppo di specifici processi di vinificazione in grado di ottimizzare la loro identità sensoriale.

ABSTRACT

Wine's aroma compounds belong to several chemical classes and most of them are produced during alcoholic fermentation. However, in most cases the aromatic typicality is due to compounds originating from grapes. These volatile compounds are called "varietal aromas". Among these compounds, the most important are terpenoids, norisoprenoids, pyrazines, sulphur compounds, phenols and lactones. These odour molecules importantly affect the wine olfactory characteristics. Some of them are also present as glycosylated aroma precursors. These compounds are hydrolyzed during different steps of the wine-making, with a consequent increase of wine aroma complexity. The modern oenology emphasizes all practices preserving and increasing the presence of these compounds in the final wine.

BIBLIOGRAFIA

- ALLEN M.S., LACEY M.J. (1993): *Methoxypyrazine grape flavour: influence of climate, cultivar and viticulture*, «Die Wein-Wissenschaft», 48, pp. 211-213.
- BAYONOVE C., CORDONNIER R., DUBOIS P. (1975): *Etude d'une fraction caractéristique de l'arôme du raisin de la variété Cabernet Sauvignon: mise en évidence de la 3-isobutil-2-methoxypyrazine*, «CR Acad. Sci.» (Paris), 281, pp. 75-78.
- BOIDRON J.N., TORRES P. (1979): *Les aromes des muscats, etude analytique et dégustative*, «Bull. Techn. Pyrénées Orient.», 93, pp. 157-161.
- CHATONNET P., DUBOURDIEU D., BOIDRON J.N., PONS M. (1992): *The origin of ethyl-phenols in wines*, «J. Sci. Food Agric.», 60, pp. 165-178.
- CHEYNIER V., SOUQUET J.M. AND MOUTOUNET M. (1989): *Glutathione contenting glutathione to hydroxycinnamic acid ratio in Vitis vinifera grapes and usts*, «Am. J. Enol. Vitic.», 40 (4), pp. 320-324.
- CORDONNIER R., BAYONOVE C. (1974): *Mise en évidence dans la baie de raisin, variété Muscat d'Alexandrie, de monoterpènes liés révélables par une ou plusieurs enzymes du fruit*, «CR Acad. Sc. Paris», Série D, 278, pp. 3387-3390.
- CORDONNIER R. (1956): *Recherches sur l'aromatisation et le parfum des vins doux naturels et des vins de liqueur*, «Ann. Technol. Agr.», 5, pp. 75-110.
- DARRIET P., PONS M., LAMY S., DUBOUEARTHY D. (2000): *Identification and quantification of geosmin, an earthy odorant contaminating wines*, «J. Agric. Food Chem.», 48, pp. 4835-4838.
- DARRIET P., TOMINAGA T., DUBOURDIEU D. (1995): *Identification of a powerful aromatic component of Vitis vinifera L. var. Sauvignon wines: 4-mercapto-4methypentan-2-one*, «Flavour Fragrance J.», 10, pp. 385-392.
- DE LA PRESA OWENS C., SCHLICH P., WADA K., NOBLE AC. (1998): *Using sensory and instrumental data to interpret the effect of storage at elevated temperatures on aroma of Chardonnay wines*, «Annales New York Academy of Sciences», pp. 854-859.
- DUBOIS P., BRULE G., ILLIC L. (1971): *Etude des phénols volatils de deux vins rouges*, «Ann. Technol. Agric.», 20, pp. 131-139.
- ETIÉVANT P.X. (1991): *Wine. In Volatile compounds of food and beverages*, H. Maarse (Ed.), Drekker, New York, pp 483-556.
- FERNANDEZ M.R.S. (2003): *Factores que influyen en la calidad aromática de los vinos*, «Investigación y Ciencia», pp. 32-39.
- FERREIRA V. (2005): *Impact of yeast on the varietal aroma of wine*, in Atti "Yeast's contribution to the sensory profile of wine", La Rioja, Spagna, 27-28 Aprile, pp. 19-26.
- GENOVESE A., GAMBUTI A., PIOMBINO P., MOIO L. (2006): *Sensory properties and aroma compounds of sweet Fiano wine*, «Food Chemistry», 103, pp. 1228-1236.
- GUNATA Z. (1984): *Recherches sur la fraction liée de nature glycosidique de l'arome du raisin: importance des terpénilycosides, action des glicosidases*, Tesi di Dottorato, Università di Montpellier.
- HEYMAN H., NOBLE A.C., BOULTON R.B. (1986): *In Proceedings of the 27th OIV symposium*, Bratislava, 24-28 June, «J.Agric. Food Chem.», 34, p. 268.
- LA GUERCHE S. (2004): *Recherches sur les déviations organoleptiques des moûts et des vins associées au développement de pourritures sur les raisins – étude particulière de la géosmine*, Tesi di dottorato. Université Victor Segalen Bord eux 2.
- LA GUERCHE S. (2005a): *Origin of (-)-geosmin on grapes: on the complementary action of two fungi, Botrytis cinerea and Penicillium expansum*, Antonie Van Leeuwenhoek, Spus Presse.

- LA GUERCHE S. (2005b): *Etude: les défauts moisis terreux des vins: la géosmine identifiée comme principale responsable*, Grand Prix 2005 Academie Amorim.
- LAVIGNE-CREUGE V. AND BERTRAND A. (2005): *Rôle du glutathion sur l'évolution aromatique des vins blancs secs*, OIVV, CII-Techno 03, pp. 2005-20.
- MAGA J.A. (1989): In *Flavors and off-flavors*, Charalambous Ed., Elsevier, Amsterdam, p. 61.
- MOIO L., UGLIANO M., GAMBUTI A., GENOVESE A., PIOMBINO P. (2004): *Influence of different clarification treatments on the concentration of selected free varietal aroma compounds and glycoconjugates of Falanghina (Vitis vinifera L.) must and wine*, «Am. J. Enol. Vitic.», 51, pp. 7-12.
- MOIO L., UGLIANO M., GENOVESE A., GAMBUTI A., PESSINA R., PIOMBINO P. (2004): *Effect of antioxidant protection of must on volatile compounds and aroma shelf life of Falanghina (Vitis vinifera L.) wine*, «J. Agric. Food Chem.», 52, pp. 891-897.
- MOIO L. AND ETIEVANT P.X. (1995): *Ethyl antranilate, ethyl cinnamate, 2,3-dihydrocinnamate and methyl antranilate: four important odorants identified in Pinot Noir wines of Burgundy*, «American Journal of Enology and Viticulture», 46, pp. 392-398.
- MOIO L., DI MARZIO L., GENOVESE A., PIOMBINO P., SQUILLANTE E., CASTELLANO L., MERCURIO V. (2000): *I descrittori sensoriali ed i componenti volatili ad elevato impatto olfattivo dell'aroma del vino Fiano*, «Vignevini», 29, pp. 115-123.
- MOIO L., PESSINA R., SCHLICH P. (2006): *Dominanza temporale delle sensazioni del gusto e dell'aroma del vino*, «L'informatore Agrario», 14 (supplemento n. 1), pp. 32-36.
- PARK S.K., MORRISON J.C., ADAMS D.O., NOBLE A.C. (1991): *Distribution of free and glycosidically bound monoterpenes in skin and mesocarp of Muscat of Alexandria grapes during development*, «J. Agric. Food Chem.», 39, pp. 514-518.
- PESSINA R., PATRON C., PINEAU N., PIOMBINO P., MOIO L., SCHLICH P.: *Measuring temporality of sensations in wine*, «Food Quality and Preference» (Submitted).
- PINEAU N., CORDELLE S., IMBERT A., ROGEAUX M., SCHLICH P. (2003): *Dominance temporelle des sensations. Codage et analyse d'un nouveau type de données sensorielles*, XXXVèmes Journées de Statistique, Lyon, 2-6 juin, pp. 777-780.
- PINEAU N., CORDELLE S., SCHLICH P. (2004): *Méthodes d'acquisition, de codage et d'analyse de profils sensoriels temporels*, 8èmes Journées Agro-Industries et Méthodes Statistiques, Rennes, 10-12 mars, pp. 87-93.
- RAPP A., MARAIS J. (1993): *The shelf life of wine: changes in aroma substances during storage and aging of white wines*, in *The shelf life of Foods and Beverages. Chemical, Biological, Physical and Nutritional Aspects*, G. Charalambous (Ed.) Elsevier Science Publisher, Amsterdam, The Netherlands, pp. 891-921.
- RAPP A., KNIPSER W., ENGEL L., ULLEMEYER H. & HEIMANN W. (1980): *[A typical aroma compounds in grapes and wines from interspecies hybrid vines. I. Strawberry note.] Fremdkomponenten im Aroma von Trauben und Weinen interspezifischer Rebsorten. I*, «Die Erdbeernote. Vitis.», 19, pp. 13-23.
- RAZUNGLAS A. AND BAYONOVE C. (1996): In *la viticulture à l'albe du IIIe millénaire*, «J. Int. Sci., Vigne Vin», J. Bouard et G. Guimberteau Ed., p. 85.
- RIBÉREAU-GAYON P., GLORIES Y., MAUJEAN A., DUBOURDIEU D. (1998): *Traité d'œnologie II - Chimie du vin - Stabilisation et traitements*, Dunod - Paris.
- SIMPSON R.F. AND MILLAR G.C. (1984): *Aroma composition of Chardonnay wine*, «Vitis», 23, pp. 143-158.
- SIMPSON R.F. (1978): *1,1,6-trimethyl-1,2-dihydronaphthalene: an important contributor to the bottle aged bouquet of wine*, «Chemistry and Industry», 1, p. 37.

- TOMINAGA T., PEYROT DES GACHONS C., DUBOURDIEU D. (1998): *A new type of flavor precursor in Vitis vinifera L. cv. Sauvignon blanc: S-cysteine conjugates*, «J. Agric. Food Chem.», 46, pp. 5215-5219.
- UGLIANO M., GAMBUTI A., GENOVESE A., PIOMBINO P., PESSINA R., MOIO L. (2004): *The effects of pomace contact and heat treatment during vinification on the concentration of Aglianico (Vitis vinifera L.) aroma compounds and glycoconjugates*, in Proceedings of the 28th OIV symposium. Wien, 4-9 July, pp. 2-30.
- UGLIANO M., GENOVESE A., MOIO L. (2003): *Hydrolysis of wine aroma precursors during malolactic fermentation with for commercial starter cultures of Oenococcus oeni*, «J. Agric. Food. Chem.», 51, pp. 5073-5078.
- UGLIANO M., MOIO L. (2004): *Hydrolysis of grape aroma precursors during malolactic fermentation*, in *Actualité oenologiques: proceedings of the 7th International symposium of enology of bordeaux*. Arcachon, 19-21 June. A. Lonvaud-Funel, G. De Revel, P. Darriet (Eds.) Tec & Doc Paris, pp. 203-206.
- WILLIAMS P.J., SEFTON M.A., FRANCIS I.L. (1992): *Glycosidic precursors of varietal grape and wine flavour*, in *Thermal and enzymatic conversions of precursors of flavour compounds*, ACS Symposium series No 490. American Chemical Society, Washington, DC.R. Teranishi, G. Takeoka, M. Guntert (Eds.), pp 74-86.
- WILSON B., STRASS C.R., WILLIAMS P.J. (1984): *Changes in free and glycosidically bound monoterpenes in developing Muscat grapes*, «Journal of Agricultural and Food Chemistry», 32, pp. 919-924.