

# EFFETTI DELLE INTERAZIONI MULTISENSORIALI SULLA PERCEZIONE DEL VINO ROSSO: STUDIO ATTRAVERSO LA CARATTERIZZAZIONE SENSORIALE E CHIMICA DI VINI ROSSI ITALIANI

**Paola Piombino<sup>1\*</sup>, Elisabetta Pittari<sup>1</sup>, Panagiotis Arapitsas<sup>2</sup>, Andrea Curioni<sup>3</sup>, Vincenzo Gerbi<sup>4</sup>, Giuseppina Paola Parpinello<sup>5</sup>, Maurizio Ugliano<sup>6</sup>, Luigi Moio<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> Dipartimento di Agraria, Sezione di Scienze della Vigna e del Vino, Università degli Studi di Napoli Federico II, 83100 Avellino (AV), Italia

<sup>2</sup> Dipartimento di Qualità Alimentare e Nutrizione, Centro di Innovazione e Ricerca, Fondazione Edmund Mach, San Michele all'Adige, 38010 Trento (TN), Italia

<sup>3</sup> Dipartimento di Agronomia Animali Alimenti Risorse Naturali e Ambiente, Università di Padova, 35020 Padova (PD), Italia

<sup>4</sup> Dipartimento di Scienze Agrarie, Forestali e Alimentari, Università di Torino, Grugliasco, 10095 Torino (TO), Italia

<sup>5</sup> Dipartimento di Scienze e Tecnologie Agro-Alimentari, Università degli Studi di Bologna, 40126 Bologna (BO), Italia

<sup>6</sup> Dipartimento di Biotecnologie, Università di Verona, 37029 San Floriano (VR), Italia

\* [paola.piombino@unina.it](mailto:paola.piombino@unina.it)

**Articolo estratto dalla presentazione di G. Carella in occasione della Enoforum Web Conference (23-25 febbraio 2021)**

## Introduzione

Il vino è un prodotto edonistico e, oggi più che in passato, consumo e apprezzamento da parte dei consumatori dipendono dalle sue caratteristiche sensoriali (Chironi et al., 2013; Vecchio et al., 2019). Il *flavour* risulta dall'integrazione di tutte le sensazioni percepite nelle cavità orali e nasali, comprese le sensazioni olfattive (ortonasali e retronasali), quelle gustative e le altre sensazioni orali che coinvolgono percezioni tattili e trigeminali (Prescott, 2012; Small & Prescott, 2005). Durante la degustazione, la percezione del *flavour* del vino è significativamente influenzata dalle interazioni tra diversi stimoli sensoriali (Noble, 1996). Tra questi ultimi, l'odore e l'astringenza sono caratteristiche importanti nel definire la complessità e la qualità dei vini rossi e rappresentano i due principali *drivers* intrinseci che guidano le decisioni di acquisto dei consumatori di vini rossi (Charters & Pettigrew, 2007; Peynaud, 1987; Sáenz-Navajas et al., 2016).

Nei vini sono stati identificati circa mille composti organici volatili (VOCs), che variano da centinaia di mg/L a µg/L o ng/L (Li, 2006); tuttavia, solo alcuni di essi sono attivamente coinvolti nella complessità olfattiva del vino (Guth, 1997).

L'astringenza è una sensazione complessa non completamente compresa, mediata dai recettori tattili e trigeminali situati nella cavità orale (Bate-Smith, 1954; Chen & Engelen, 2012; Jiang et al., 2014; Schöbel et al., 2014). È comunemente accettato che l'astringenza derivi dall'interazione tra tannini e flavan-3-oli con le proteine salivari (Bate-Smith, 1973; Kallithraka et al., 1998; Soares et al., 2011; Soares et al., 2017); tuttavia, sono ancora sconosciuti gli aspetti chimici e sensoriali che stanno alla base dell'elicitazione delle diverse sensazioni riconducibili all'astringenza e che caratterizzano i diversi stili di vino rosso. La complessità sensoriale dell'astringenza è stata descritta con 33 termini, raggruppati in 7 categorie, di cui due sono spesso riferite a caratteristiche di astringenza più morbide (astringenza complessa

e rotondità superficiale/vellutata), e le restanti cinque a sensazioni più decise (astringenza secca, dura, acerba, dinamica e particolata) (Gawel et al., 2000).

In letteratura, è riportato che le interazioni tra i costituenti della frazione non volatile del vino e quelli della frazione volatile, così come le interazioni tra i diversi stimoli sensoriali da esse suscitati, influenzano le caratteristiche sensoriali del vino. È stato riportato che le percezioni olfattive orthonasali e retronasali sono influenzate dai composti chimici non volatili del vino, come i polifenoli, a causa dei loro effetti sul rilascio di aromi (Pittari et al., 2021). Allo stesso modo, è stato riportato che la percezione dell'astringenza è influenzata dalle proprietà chimiche del vino (es. pH, acidità, etanolo, polisaccaridi) (Fontoin et al., 2008; Hort & Hollowood, 2004; Watrelot et al., 2018). Alcune ricerche hanno affrontato lo studio delle interazioni sensoriali multimodali (aroma-aroma, aroma-gusto, gusto-astringenza e aroma-astringenza) e il loro impatto sensoriale sulle diverse sensazioni (De-la Fuente-Blanco et al., 2016; Sáenz-Navajas et al., 2012). Nonostante i meccanismi alla base di tali interazioni siano ancora poco chiari, è noto che essi influiscono sulla percezione sensoriale e sulla qualità del vino (Cameleyre et al., 2018; Sereni et al., 2016). Dunque, lo studio delle interazioni intermodali tra gli stimoli olfattivi e orali del vino è un argomento di interesse per ricercatori e produttori di vino per comprenderne la percezione e le scelte dei consumatori.

Le interazioni sensoriali intermodali sono state indagate in diverse bevande e prodotti alimentari, principalmente in matrici modello (Poinot et al., 2013). Nel caso dei vini, un numero limitato di studi è stato condotto su soluzioni modello e, ancor meno, su matrici reali, mostrando peraltro risultati contraddittori. In un primo studio (Sáenz-Navajas et al., 2010), applicando un metodo di decomposizione/ricostituzione, gli autori hanno suggerito che l'aggiunta di estratti fruttati volatili di un vino bianco Chardonnay agli estratti non volatili deodorizzati di un vino rosso riduceva la percezione dell'astringenza e dell'amaro, comportando al contrario un aumento della percezione della dolcezza. Viceversa, la sostituzione di una matrice volatile del vino bianco con una del vino rosso, provocava un aumento della percezione dell'astringenza e una diminuzione della dolcezza. In un successivo esperimento (Sáenz-Navajas et al., 2018), è stato dimostrato che il carattere verde (orale) dei vini rossi era correlato positivamente con aromi vegetali e negativamente con aromi legnosi, di frutta matura e di ossidazione. Inoltre, alcuni autori hanno dimostrato che in soluzioni modello astringenti per la presenza di 2 g/L di catechina o epicatechina, l'aggiunta di specifici volatili con note fruttate, di cuoio e affumicate (dovute ad acetato di isoamile, etilacetato, damascenone, 4-etilfenolo, e 4-etilguaiacolo) aumentavano la persistenza e l'intensità dell'astringenza, sottolineando le relazioni tra percezione di aromi e astringenza (Ferrer-Gallego et al., 2014). Tuttavia, i risultati di un lavoro molto recente (Sáenz-Navajas et al., 2020), condotto con e senza l'utilizzo di pinze nasali, hanno riportato che, fatta eccezione per l'attributo della sensazione orale "oleosa", la percezione degli aromi non aveva avuto un impatto sulle altre sensazioni orali dei vini rossi, inclusi numerosi descrittori di astringenza (es. astringenza secca, adesiva, polverosa, granulosa, sabbiosa, grossolana, setosa e gommosa). Questi risultati supportano uno studio precedente (De-la-Fuente-Blanco et al., 2017), che ha suggerito che le interazioni tra aroma e astringenza non erano quantitativamente rilevanti nel determinare i livelli di intensità dell'astringenza dei vini rossi, indipendentemente dal livello di esperienza dei consumatori. Al contrario, l'amaro è aumentato con gli aromi animali nel gruppo degli assaggiatori principianti. Pertanto, l'effetto della modulazione dell'aroma sull'astringenza e sulla percezione del gusto rimane un argomento poco chiaro che deve essere esplorato ulteriormente, idealmente in vini reali con caratteristiche sensoriali e compositive molto diverse. In un recente studio, che ha esaminato le caratteristiche sensoriali orali di 11 vini rossi italiani mono-varietali, abbiamo osservato che gli 11 tipologie di vino hanno mostrato diversi profili di astringenza caratterizzati da un diverso equilibrio tra sei sub-qualità (astringenza secca, dura, acerba, dinamica, complessa e rotondità superficiale/vellutata) (Piombino et al., 2020). Inoltre, testando le correlazioni tra parametri sensoriali (comprese le sei sub-qualità di astringenza) e parametri

chimici, i risultati hanno parzialmente supportato l'ipotesi che gli stimoli olfattivi relativi ai volatili del vino potrebbero svolgere un ruolo di modulazione nella percezione di alcune sub-qualità di astringenza. L'indagine di questi aspetti è interessante e utile per gli enologi nella gestione e nel controllo della qualità del vino e per comprendere meglio le preferenze dei consumatori. Infatti, processi cerebrali integrativi, come le interazioni intermodali, potrebbero almeno in parte spiegare perché è difficile trovare una correlazione diretta tra specifici composti o strutture chimiche e diverse sensazioni di astringenza che sono di grande interesse per la ricerca e per la produzione.

Per questo motivo, gli obiettivi principali di questo studio sono stati: (i) indagare le interazioni inter-modalità odore-astringenza (singole sub-qualità) e odore-gusto in un ampio set di vini reali, sfruttando la diversità sensoriale di 10 vini rossi italiani mono-varietali; (ii) testare e confrontare le correlazioni tra parametri sensoriali (descrittori olfattivi, sub-qualità di astringenza e gusti) e chimici (fenoli totali, proantocianidine, etanolo, zuccheri riducenti, pH, acidità titolabile, acidità volatile) sia in presenza che in assenza di molecole volatili (aromi). Per fare ciò, è stato analizzato un campione di 74 vini considerando due tipi di condizioni di valutazione: i vini interi (WW) e i corrispondenti vini deodorizzati (DW), rispettivamente con e senza volatili. Per escludere le percezioni olfattive, è stata applicata una procedura di deodorizzazione al fine di rendere i giudici a proprio agio con il test sensoriale e per simulare, per quanto possibile, le stesse condizioni respiratorie sperimentate durante una "normale" degustazione di vino. A differenza dei metodi di deodorizzazione precedentemente applicati per studiare l'astringenza o l'aroma (Lytra et al., 2012; Muñoz-González et al., 2014; Rodríguez-Bencomo et al., 2011; Sáenz-Navajas et al., 2010a; Sáenz-Navajas et al., 2010b), una nuova procedura di deodorizzazione è stata ottimizzata allo scopo di evitare l'uso di solventi e ottenere vini deodorizzati rappresentativi del vino di partenza e che potessero essere degustati dai giudici.

## Materiali e metodi

### 1. Campioni di vino

Sono stati analizzati 74 vini rossi italiani 100% mono-varietali prodotti da 10 uve autoctone italiane, annata 2016: 10 Sangiovese (Romagna e Toscana), 8 Teroldego Rotaliano (Trentino-Alto Adige), 7 Corvina (Veneto), Raboso Piave (Veneto), Nebbiolo (Piemonte), Sagrantino (Umbria), Montepulciano (Abruzzo), Cannonau (Sardegna), Aglianico (Campania), e Primitivo (Puglia). I campioni sono stati selezionati dalle cantine più rappresentative di ciascuna zona di produzione, fermentati in serbatoi di acciaio inox su scala commerciale, e campionati prima della fermentazione malolattica e dell'affinamento in botti di rovere. Prima dell'imbottigliamento, tutti i campioni sono stati protetti con 50 mg/L di SO<sub>2</sub> libera; le bottiglie sono state chiuse con un tipo di sughero Select Green 500 (Nomacorc, Revisaltes, Francia) e conservate a temperatura controllata di cantina (12 ± 2 °C) fino all'analisi.

### 2. Analisi sensoriale

Essendo lo scopo della presente ricerca quello di indagare l'impatto degli stimoli olfattivi sull'astringenza e sulle sensazioni gustative durante il consumo di vino rosso, i 74 campioni di vino (vini interi: WW) e i corrispondenti 74 vini deodorizzati (DW) sono stati caratterizzati in termini di odore, astringenza e proprietà gustative utilizzando una valutazione sensoriale descrittiva su una scala numerica categorica a 9 punti (1 = molto basso, 2 = basso, 3 = medio, 4 = alto e 5 = molto alto, con valori medi ammessi).

#### 2.1. Panel

14 Giudici hanno partecipato allo studio (7 M e 7 F, 22-49 anni), reclutati tra studenti e ricercatori (Dipartimento di Scienze Agrarie, Sezione di Scienze della Vigna e del Vino, Università degli Studi di Napoli Federico II). Sono stati selezionati in base al loro interesse, disponibilità e capacità di riconoscere gli stimoli olfattivi e orali. Erano tutti esperti degustatori

di vino e avevano precedenti esperienze di analisi sensoriali sul vino. Tutte le procedure sono state condotte in conformità con gli standard etici del comitato di ricerca istituzionale e/o nazionale e con la dichiarazione di Helsinki del 1964 e i suoi successivi emendamenti o standard etici comparabili.

## 2.2. Procedura

### 2.2.1. Addestramento del panel

La selezione e la familiarizzazione dei giudici con 10 sensazioni orali (7 sub-qualità di astringenza: secca, dura, acerba, dinamica, particolata/polverosa, complessa e rotondità superficiale/vellutata; e 3 gusti: dolce, acido e amaro) e con stimoli olfattivi rappresentativi di diverse famiglie olfattive e volatili del vino (frutta, frutta disidratata, frutta secca: frutta a guscio, floreale, vegetale, speziata, tostata, legnosa, terrosa, alcolica e odori sgradevoli: fenolici, sulfurei, tappo, maderizzati/ossidati) sono state eseguite secondo procedure e materiali standard precedentemente riportati (Piombino et al., 2020; Pittari et al., 2020).

Al termine di ogni sessione formativa, le sensazioni percepite sono state discusse con i partecipanti per evitare sovrapposizioni e ridondanze tra i termini e per favorire la loro memorizzazione. Infine, per familiarizzare con l'applicazione della procedura su vini reali e per testare le prestazioni dei membri del panel, sono stati valutati 10 vini commerciali (selezionati tra i campioni in esame) (2 repliche) utilizzando la stessa procedura di valutazione delle vere sessioni analitiche. Ai giudici è stata fornita dell'acqua ed è stato richiesto di attendere almeno 15 s tra ogni campione.

### 2.2.2. Valutazione sensoriale

WW e DW sono stati analizzati mediante valutazione sensoriale descrittiva con lo stesso vocabolario e scala numerica categorica a 9 punti utilizzati durante l'addestramento. I 74 WW + 74 DW (2 repliche), sono stati valutati in 15 sessioni, ogni sessione divisa in 2 sotto-sessioni con una pausa imposta di 15 minuti, e le valutazioni di WW o corrispondenti DW sono state eseguite in ogni sotto-sessione. Tutti i partecipanti hanno valutato i 74 WW prima annusando e valutando le intensità degli odori, e poi assaggiando per valutare le sub-qualità di astringenza e i gusti secondo una procedura precedentemente descritta (Piombino et al., 2020). La stessa procedura di degustazione è stata ripetuta sui DW in una sotto-sessione separata.

I giudici non sono stati informati sulla natura dei campioni. Per ogni campione sono stati serviti 25 mL in bicchieri coperti (ISO, 1997) codificati con tre cifre e presentati in ordine casuale. I vini sono stati serviti a temperatura ambiente ( $21 \pm 1$  °C) e valutati in cabine individuali (ISO, 2007).

## 3. Deodorizzazione e ricostituzione dei vini

Attingendo ai metodi precedentemente riportati in letteratura (Lytra et al., 2012; Rodríguez-Bencomo et al., 2011), è stata ottimizzata una nuova procedura di deodorizzazione rapida (circa 2 ore) per ottenere vini deodorizzati rappresentativi e sicuri (DW). I WW sono stati deodorizzati nei due giorni precedenti la data fissata per la corrispondente sessione di valutazione. I vini sono stati deodorizzati uno ad uno (2 repliche) come segue: 360 mL di vino sono stati pesati e trattati con ultrasuoni in un bagno d'acqua (Transsonic 460 H, Elma, Germania), lavorando a una frequenza fissa di 35 KHz, e mantenuto a una temperatura controllata di 20°C per 30 min. I campioni sono stati quindi evaporati a 30°C a pressione ridotta (Rotavapor R-210, Büchi, Svizzera). Il processo è stato interrotto quando i campioni hanno raggiunto una perdita di peso del 95% (circa 90 min). Terminata la procedura di deodorizzazione, i campioni sono stati pesati e ricostituiti, uno ad uno, fino al peso iniziale con l'aggiunta di acqua distillata ed etanolo (food grade) ad una concentrazione tale da raggiungere il grado alcolico iniziale (%v/v) del vino. I DW sono stati quindi conservati a ( $12 \pm 2$  °C) fino all'analisi. Eventuali differenze visive tra vino ricostituito e vino reale sono state accertate su un set di campioni scelti a caso all'interno di ciascun vitigno, mediante analisi

discriminante [Triangle Test (ISO, 2004)]: le differenze sono risultate non significative ( $\alpha=0.01$ ). Questo test, insieme ad un controllo informale per verificare l'assenza di difetti d'odore/gusto, è stato condotto internamente al laboratorio. L'efficacia della deodorizzazione è stata confermata dall'analisi Gas-Cromatografia con Spettrometria di Massa (GC-MS) (Genovese et al., 2005) della frazione volatile dei vini prima e dopo la deodorizzazione-ricostituzione. Per il controllo sono stati applicati diversi metodi per l'isolamento dei volatili: pre-concentrazione mediante SPME ed estrazione liquido-liquido come precedentemente riportato (Piombino et al., 2010; Piombino et al., 2020).

#### 4. Analisi chimiche

Etanolo, zuccheri residui, acidità volatile (VA) e acidità titolabile (TA) sono stati misurati secondo i metodi dell'Organizzazione Internazionale della Vigna e del Vino (OIV, 2015). Il pH è stato determinato mediante potenziometria (pHmetro InoLab 730, WTW, Weilheim a Oberbayern, Germania). I fenoli totali sono stati misurati con il metodo Folin-Ciocalteu (Singleton et al., 1999). La concentrazione di proantocianidine è stata determinata dopo idrolisi acida con riscaldamento (reazione Bate-Smith) utilizzando come catalizzatore un sale ferroso ( $\text{FeSO}_4$ ) (Di Stefano et al., 1989; Torchio et al., 2010).

#### 5. Analisi dei dati

Per caratterizzare sensorialmente i campioni di vino tal quale (WW), due analisi delle componenti principali (PCA) sono state effettuate sulle matrici di correlazione (Pearson,  $p<0.05$ ) delle intensità medie di ciascun vitigno per le sensazioni orali e olfattive risultate significative.

Per testare l'effetto di discriminazione dei descrittori orali e per valutare l'impatto della modalità di percezione (con e senza volatili) sulle sub-qualità di astringenza e sulla percezione del gusto nei 74 vini rossi, è stata effettuata un'analisi della varianza (ANOVA) a 3 vie (giudici: fattore casuale; vitigno e modalità di percezione: fattori fissi; Tukey,  $p<0.05$ ) con interazioni (modalità di percezione\*vitigno).

È stata inoltre applicato un test ANOVA a 2 vie (giudici: fattore casuale; vitigno: fattore fisso; Tukey,  $p<0.05$ ) per testare l'effetto di discriminazione dei descrittori olfattivi nei 74 campioni di vino.

Per testare l'impatto degli stimoli olfattivi sulla percezione delle sub-qualità di astringenza nei 10 tipi di vino, altre analisi ANOVA a 2 vie (giudici: fattore casuale; vino: fattore fisso; Tukey,  $p<0.05$  e 0.1) sono state eseguite sui valori di intensità delle sub-qualità di astringenza nei WW e nei corrispondenti DW di ciascun tipo di vino.

Le analisi di correlazione di Pearson ( $p<0.05$ ) sono state applicate all'intero set di vini (dimensione del campione: 74) per studiare le correlazioni tra specifici descrittori olfattivi e orali, e tra queste ultime per WW o DW e i parametri chimici.

Le prestazioni dei giudici addestrati sono state testate mediante un test ANOVA a 3 vie (Tukey,  $p<0.05$ ) con tre interazioni: giudice\*sessione, giudice\*campione, campione\*sessione (Vidal et al., 2016).

I dati sono stati elaborati con XLStat (versione 2019.6), un pacchetto software aggiuntivo per Microsoft EXCEL (Addinsoft, Parigi, Francia).

## Risultati e discussione

### 1. Interazioni intermodali olfattive/orali

Lo scopo principale di questo studio è stato quello di indagare l'impatto degli stimoli olfattivi sui gusti e sulle sub-qualità di astringenza durante la degustazione di vini rossi. Per tenere conto dell'ampia diversità sensoriale che può caratterizzare diversi vini rossi, la sperimentazione è stata condotta su 74 vini selezionati tra i 111 vini rossi italiani (11 vitigni),



la cui astringenza è stata recentemente studiata (Piombino et al., 2020). Come primo passo abbiamo testato la diversità sensoriale dei 74 vini prodotti con 10 vitigni. Le caratteristiche sensoriali dei 10 vini mono-varietali sono mostrate in due PCA separate computate sulle intensità medie delle caratteristiche orali (astringenza e gusto) (Figura 1a) e degli attributi olfattivi (Figura 1b), rispettivamente. Il primo biplot (Figura 1a) rappresenta oltre il 74% della varianza, mentre il secondo (Figura 1b) circa il 73%. I grafici mostrano la diversità sensoriale delle 10 tipologie di vino.

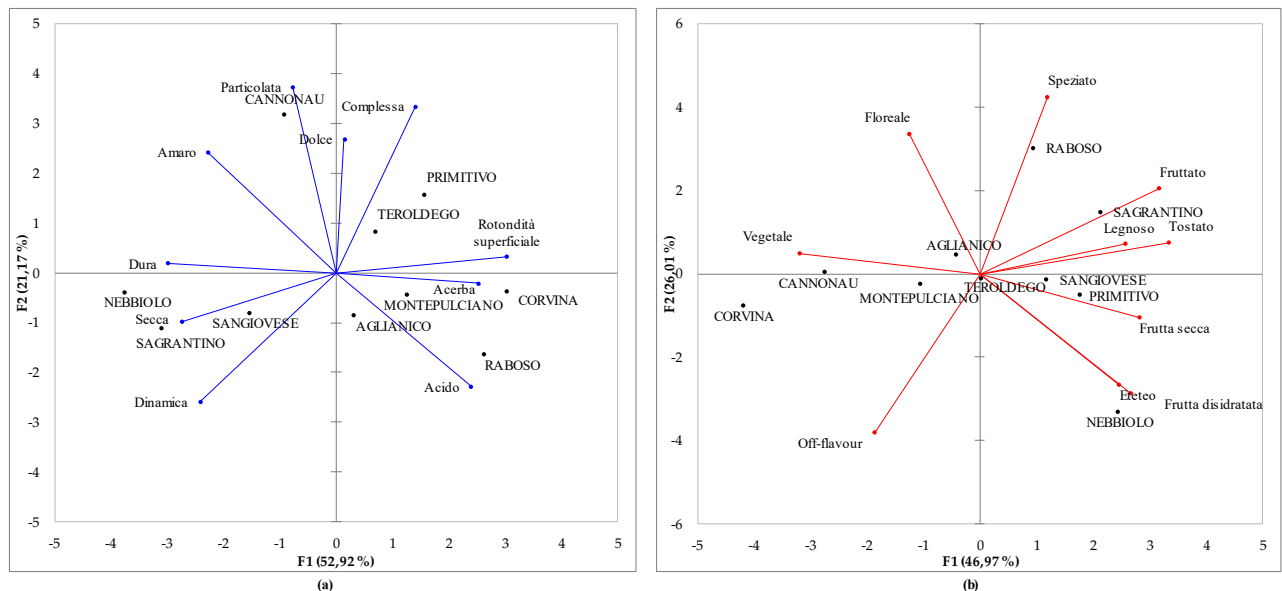


Figura 1. Analisi delle componenti principali (PCA) effettuate sulle matrici di correlazione (Pearson,  $p < 0.05$ ) delle intensità medie dei descrittori significativi misurate sui 10 vini mono-varietali valutati da 14 giudici: (a) caratteristiche orali (astringenza e gusto) e (b) attributi olfattivi.

Nella Figura 1a, Corvina e Raboso mostrano i coseni quadrati positivi più alti sulla prima componente (F1), dove le variabili rotondità superficiale, acerbo e acido sono ben proiettate. Montepulciano e Aglianico occupano la stessa area ma mostrano coseni quadrati più bassi. Sul versante opposto alla F1, Nebbiolo, Sagrantino e Sangiovese sono tutti ben correlati all'astringenza dura, secca e dinamica. Le sensazioni di particolato, complesso e dolce sono ben rappresentate positivamente sulla seconda componente (F2) e correlate al Cannonau, mentre Primitivo e Teroldego sono per lo più correlati alle astringenze complessa e morbida. La figura 1b mostra che il set di campioni era rappresentativo di vini con caratteristiche olfattive diverse. F1 rappresenta il contrasto tra vini con odori vegetali dominanti, principalmente Corvina e Cannonau, e quelli che presentano note diverse: fruttato, tostato e legnoso (Sagrantino); frutta secca (Primitivo); frutta disidratata e note alcoliche (Nebbiolo). Sulla F2, all'opposto degli odori sgradevoli, sono rappresentati vini con sentori speziati e floreali, come il Raboso e l'Aglianico, rispettivamente. Quest'ultimo vino, insieme a Montepulciano, Sangiovese e Teroldego, ha un basso coseno quadrato che suggerisce un apporto minore e/o più equilibrato di odori vari.

L'effetto discriminante tra i 74 vini dei descrittori orali e olfattivi è stato testato mediante un'analisi ANOVA e i risultati sono riportati nelle tabelle 1 e 2, rispettivamente.

Fatta eccezione per l'astringenza particolata/polverosa, tutti gli altri 9 descrittori orali hanno mostrato variazioni significative legate al fattore fisso vitigno (Tabella 1). 8 Descrittori olfattivi su 11 sono risultati significativamente differenti a seconda del vitigno (Tabella 2): frutta secca (noci) e legnoso non sono risultati significativi così come il descrittore terroso, che non è stato considerato per ulteriori analisi – compresa la PCA riportata nella Figura 1b – a causa della

manca di significatività del suo modello. Questi primi risultati confermano una diversità sensoriale inter-varietale dei 10 vini mono-varietali, la quale rappresenta il presupposto per l'indagine delle interazioni sensoriali intermodali tra sensazioni olfattive e orali durante la degustazione del vino rosso.

Descrittore orale	Modello		Varietà di uva		Modalità di percezione		Modalità di percezione* Varietà di uva	
	F	p	F	p	F	p	F	p
Secca	15.488	< 0.0001	14.557	< 0.0001	0.191	0.662	1.438	0.157
Dura	10.697	< 0.0001	11.253	< 0.0001	6.534	<b>0.011</b>	0.575	0.836
Acerba	11.541	< 0.0001	6.744	< 0.0001	11.293	<b>0.001</b>	2.046	<b>0.026</b>
Dinamica	10.241	< 0.0001	16.396	< 0.0001	11.001	<b>0.001</b>	1.976	<b>0.032</b>
Particolata/polverosa	5.858	< 0.0001	1.064	0.387	2.567	0.109	0.891	0.541
Complessa	12.593	< 0.0001	3.658	< 0.0001	54.233	< 0.0001	1.368	0.189
Rotondità superficiale/vellutata	7.881	< 0.0001	10.517	< 0.0001	4.313	<b>0.038</b>	0.807	0.622
Dolce	6.277	< 0.0001	5.112	< 0.0001	8.710	<b>0.003</b>	0.397	0.948
Acido	6.913	< 0.0001	16.876	< 0.0001	0.002	0.963	0.911	0.522
Amaro	7.915	< 0.0001	10.126	< 0.0001	13.342	<b>0.000</b>	1.149	0.321

Tabella 1. ANOVA a tre vie per testare l'effetto di discriminazione dei descrittori orali e per valutare l'impatto della modalità di percezione (con e senza molecole odorose, rispettivamente WW e DW) sulla percezione sensoriale orale dei 74 campioni. In grassetto sono riportate le differenze significative (Tukey,  $p < 0.05$ ).

Descrittore olfattivo	Modello		Varietà di uva	
	F	p	F	p
Fruttato	11.779	< 0.0001	2.663	<b>0.003</b>
Frutta disidratata	5.621	< 0.0001	3.674	< 0.0001
Frutta secca	2.836	< 0.0001	1.824	0.052
Floreale	13.841	< 0.0001	3.787	< 0.0001
Vegetale	4.757	< 0.0001	6.862	< 0.0001
Speziato	6.549	< 0.0001	2.478	<b>0.006</b>
Tostato	4.975	< 0.0001	2.450	<b>0.007</b>
Legnoso	6.406	< 0.0001	1.166	0.310
Terroso	1.903	0.006	1.679	0.081
Etereo	2.680	< 0.0001	1.883	<b>0.044</b>
Off-flavour	5.766	< 0.0001	4.508	< 0.0001

Tabella 2. ANOVA a due vie computata per testare l'effetto discriminante dei descrittori olfattivi tra i 74 campioni. In grassetto sono riportate le differenze significative (Tukey,  $p < 0.05$ ).

Gli istogrammi in Figura 2 mostrano le modifiche del profilo sensoriale dell'astringenza di ciascuno dei 10 vini mono-varietali dopo deodorizzazione.

L'analisi statistica (ANOVA) evidenzia numerose variazioni significative ( $p < 0.05$ ,  $p < 0.1$ ) nella percezione dell'intensità di alcune sub-qualità dell'astringenza nei vini deodorizzati rispetto ai corrispondenti vini interi. Almeno una variazione significativa è stata riscontrata in ogni tipologia di vino. L'astringenza del Sagrantino è stata quella più influenzata dalla deodorizzazione, con quattro sub-qualità di astringenza (dura, dinamica, complessa e particolata) variate significativamente in assenza di stimoli olfattivi. Tre variazioni significative sono state rilevate sia per il Sangiovese (acerba, complessa e rotondità superficiale) sia per l'Aglianico (acerba, complessa e secca) e due per Nebbiolo (acerba e secca) e Primitivo (dinamica e complessa). L'astringenza dei restanti vini è stata meno influenzata dall'assenza di molecole volatili, dove sono state rilevate variazioni significative solo per una sub-qualità, ovvero l'astringenza complessa per Raboso, Cannonau e Teroldego, e quella acerba per Corvina.

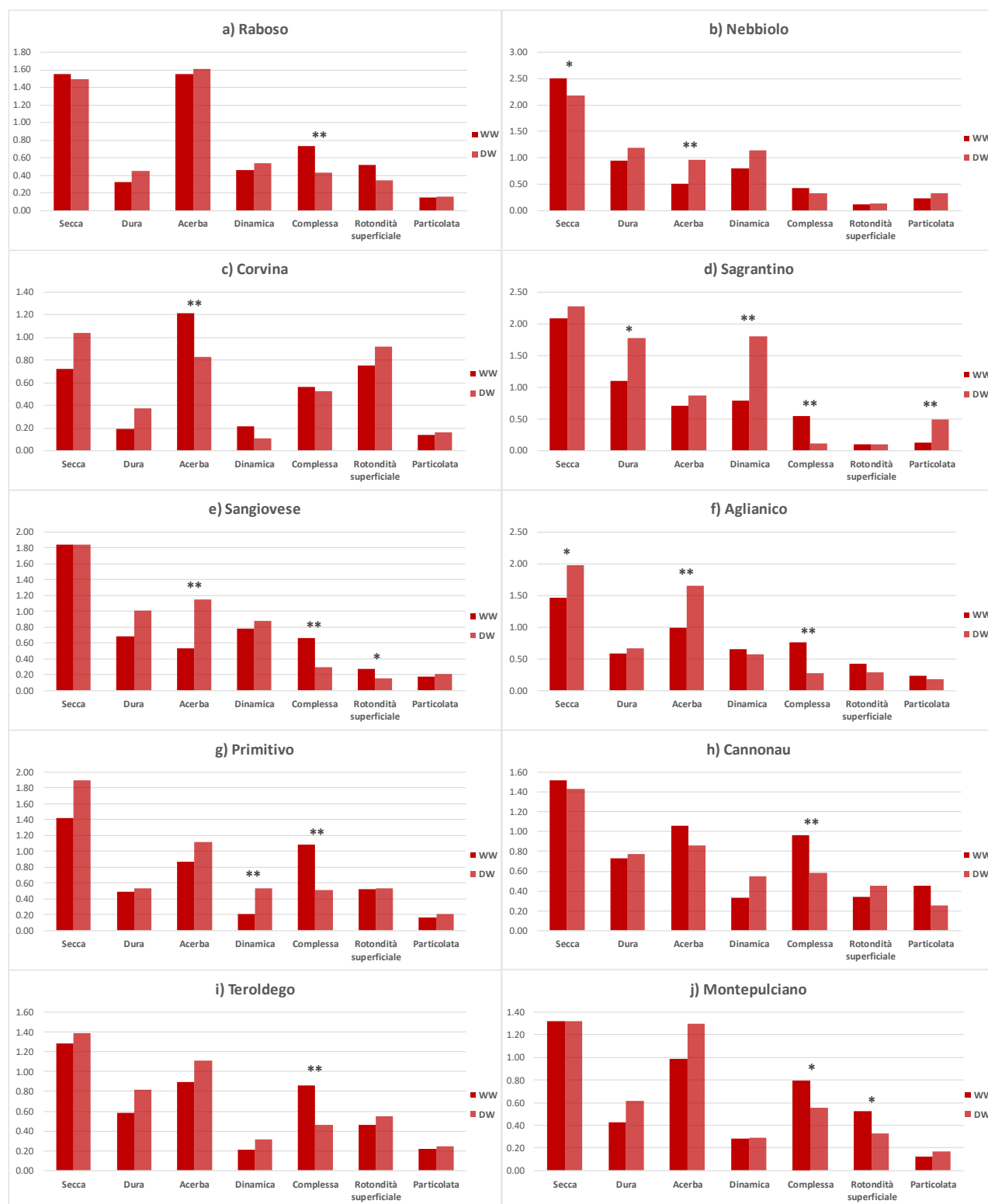


Figura 2. Istogrammi che illustrano l'impatto della deodorizzazione sul profilo delle sotto-qualità di astringenza

(secca, dura, acerba, dinamica, complessa, vellutata, particolata) di ciascuno dei 10 vini mono-varietali. Le differenze significative valutate tra WW (rosso scuro) e corrispondenti DW (rosso chiaro) sono contrassegnate da asterischi (\*  $p < 0.1$ , \*\*  $p < 0.05$ ).



Due sub-qualità sono state le più frequentemente influenzate dalla deodorizzazione: l'astringenza complessa è stata percepita come significativamente meno intensa in 8 tipologie di vino su 10 (Raboso, Sagrantino, Sangiovese, Aglianico, Primitivo, Cannonau, Teroldego e Montepulciano) e l'astringenza acerba in quattro (Nebbiolo, Corvina, Sangiovese e Aglianico). Ciò non sorprende perché entrambe queste sub-qualità di astringenza corrispondono a sensazioni che includono percezioni olfattive non solo orali ma anche retronasali. Infatti, sulla base delle definizioni originali (Gawel et al., 2000), la nostra giuria ha sviluppato e utilizzato definizioni consensuali riportate in precedenza (Piombino et al., 2020): l'astringenza complessa è stata intesa come una equilibrata sensazione orale di astringenza morbida, acidità e aroma; l'astringenza acerba corrispondeva ad una sbilanciata sensazione orale di astringenza, acidità e aroma vegetale.

L'andamento della variazione di intensità in seguito ad assenza di aroma è stato sempre lo stesso per tutte le sub-qualità su tutti i vini mono-varietali, fatta eccezione per due di esse: l'astringenza secca che è variata leggermente ( $p < 0.1$ ) nel Nebbiolo e nell'Aglianico ma in direzione opposta; e l'astringenza acerba che è aumentata ( $p < 0.05$ ) per i campioni deodorizzati di Nebbiolo, Sangiovese e Aglianico, e diminuita ( $p < 0.05$ ) per i campioni di Corvina deodorizzati. Questo risultato potrebbe essere legato ai forti odori vegetali riscontrati in questi vini (Figura 1b), in linea con l'elevata concentrazione precedentemente riportata di alcuni volatili, come terpeni ciclici ed esanoli, caratteristici dei vini Corvina e responsabili del suo carattere vegetale/erbaceo/balsamico (Paronetto et al., 2011; Slaghenaufi & Ugliano, 2018).

Un recente studio (Sáenz-Navajas et al., 2018), volto a identificare i composti chimici che determinano il carattere verde nei vini rossi, ha concluso che si tratta di un carattere associato sia a descrittori aromatici che gustativi (vegetale, astringente, tannini verdi e secchi). Sulla base di queste conoscenze, la nostra ipotesi è che le note odorose vegetali della Corvina possano esaltare la percezione dell'astringenza acerba. Questo effetto sinergico/additivo potrebbe essere il motivo per cui, a differenza di Nebbiolo, Sangiovese e Aglianico (Figura 2b,e,f) che non erano caratterizzati da odori vegetali (Figura 1b), nei vini Corvina l'astringenza acerba è stata percepita più intensa nei WW (Figura 2c). Questa ipotesi sembra essere supportata da un analogo andamento rilevato nel Cannonau (Figura 2h) che, come la Corvina, era fortemente caratterizzato da odori vegetali (Figura 1b).

Al fine di ottenere un risultato più generale, l'analisi statistica (ANOVA,  $p < 0.05$ ) è stata condotta sull'intero set di 74 vini appartenenti ai 10 diversi vitigni, per valutare l'impatto della modalità di percezione (presenza o assenza di volatili) e dell'interazione "modalità di percezione\*vitigno" sulle sensazioni orali valutate nei vini con (WW) e senza aromi (DW).

I risultati riportati nella tabella 1 mostrano che la percezione di 7 sensazioni orali su 10 (astringenza dura, acerba, dinamica, complessa, vellutata, gusto dolce e amaro) era significativamente influenzata dagli odori. L'astringenza complessa è stata la più influenzata dagli stimoli olfattivi ( $p < 0.0001$ ) mentre le sub-qualità acerba e dinamica sono state significativamente influenzate dall'interazione "modalità di percezione\*vitigno". La variazione delle intensità medie (attraverso 74 vini) di ciascuna sub-qualità di astringenza e sensazione gustativa durante la degustazione dei DW rispetto ai WW corrispondenti è rappresentata nella Figura 3.

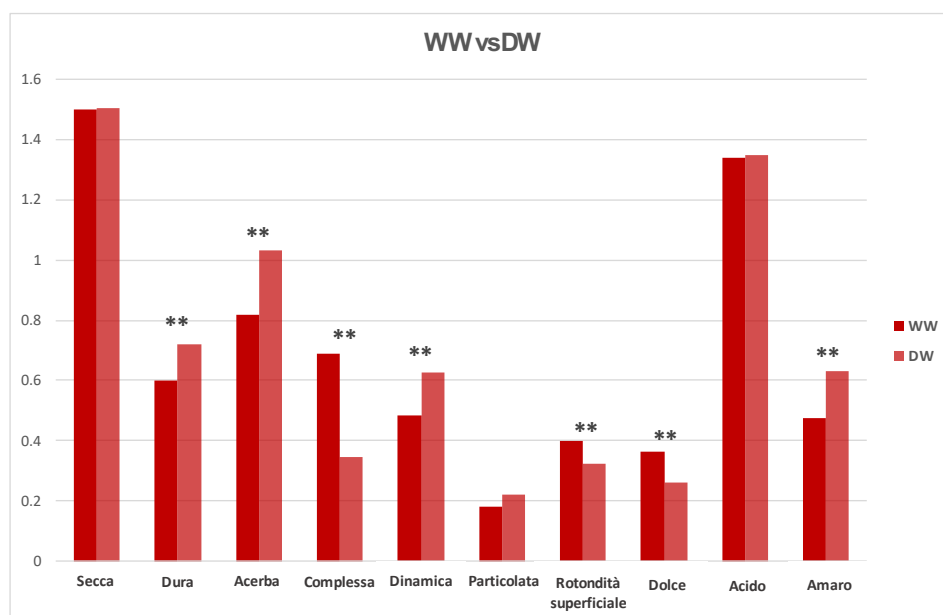


Figura 3. Variazione delle intensità medie (sui 74 vini) di ciascuna sotto-qualità di astringenza e sensazione gustativa durante la degustazione dei DW rispetto ai corrispondenti WW. Le differenze significative valutate tra WW (rosso scuro) e corrispondenti DW (rosso chiaro) sono contrassegnate da asterischi (\*  $p < 0.1$ , \*\*  $p < 0.05$ ).

Fatta eccezione per l'astringenza secca e particolata, le altre sub-qualità di astringenza (dura, acerba, dinamica) sono state percepite come più intense nei DW. Ciò suggerisce che la percezione olfattiva può attenuare queste sensazioni orali precedentemente descritte come "sensazioni di astringenza decisa" (Piombino et al., 2020; Vidal et al., 2017). Al contrario, l'astringenza complessa e vellutata (rotondità superficiale) si sono ridotte nei DW, suggerendo che gli stimoli olfattivi possono enfatizzare le sensazioni più morbide dell'astringenza. La mancanza di impatto sull'astringenza particolata potrebbe essere dovuta al fatto che i vini non erano discriminabili secondo questa caratteristica di astringenza come precedentemente rilevato (Piombino et al. 2020). La percezione dell'astringenza secca che, sulla base dei risultati degli studi sui consumatori (Vidal et al., 2015), si presume essere la sensazione astringente di base perché la più facilmente associata al termine globale astringenza, non è stata significativamente influenzata dagli stimoli olfattivi. Un risultato simile è già stato riportato (Sáenz-Navajas et al., 2020).

Passando alle sensazioni gustative, si può osservare come la percezione degli stimoli olfattivi influisca significativamente sui gusti amaro e dolce. L'amaro è aumentato in assenza di volatili, in accordo a risultati precedenti (Sáenz-Navajas et al., 2020), mentre la percezione della dolcezza è diminuita. Questi risultati sembrano confermare quelli di uno studio precedente (Sáenz-Navajas et al., 2012), in cui si è riscontrato che la percezione del dolce e dell'amaro del vino sono significativamente influenzate dagli aromi. Inoltre, precedenti risultati sull'effetto degli aromi sui gusti del sidro hanno mostrato che, nel complesso, gli aromi modulavano significativamente la percezione della dolcezza per i sidri con un contenuto di zucchero di circa 35-40 g/L (Symoneaux et al., 2015). Sebbene il contenuto di zucchero residuo dei nostri campioni fosse compreso tra 1 e 20 g/L (Tabella 3), i nostri risultati sono in linea con il lavoro citato. La sensazione di acidità non ha mostrato differenze significative tra WW e DW, il che significa che la percezione degli stimoli olfattivi non ha influenzato questo attributo del gusto. Secondo la Figura 1b, il set di vini ha mostrato un'ampia gamma di caratteristiche sensoriali in accordo all'ampia gamma di dati compositivi di base riportati nella Tabella 3.

Parameter	Mean	Minimum	Maximum
Etanolo (% v/v)	13.89	11.42	16.62
Zuccheri residui (g/L)	2.64	1.1	20.1
Acidità titolabile (g/L acido tartarico)	5.75	3.99	9.99
pH	3.55	3.07	4.1
Fenoli totali (Folin-Ciocalteu) (mg/L (+)-catechina)	2354.46	703.59	5448.55
Proantocianidine (mg/L cianidina cloruro)	3364.8	627.75	6312.37

Tabella 3. Parametri enologici determinati nei 74 vini rossi italiani.

Sfruttando tale diversità, abbiamo cercato di approfondire la nostra indagine sugli effetti delle interazioni sensoriali intermodali durante la degustazione di vini rossi, eseguendo un'analisi di correlazione di Pearson per testare statisticamente le relazioni tra specifiche note olfattive e singole sub-qualità di astringenza e gusti. I risultati riportano un totale di 21 correlazioni significative ( $p < 0.05$ ), 17 correlazioni significative tra odori e sub-qualità di astringenza e 4 tra odori e gusti. Tuttavia, nella maggior parte dei casi il coefficiente "r" è risultato basso e probabilmente legato a un effetto casuale. Per ogni sub-qualità di astringenza, sono state rilevate da 1 a 4 correlazioni significative con i descrittori olfattivi. Il fruttato è risultato debolmente correlato all'astringenza complessa ( $r = 0.308$ ). In uno studio precedente (Sáenz-Navajas et al., 2010b), è stato osservato che l'aggiunta di un estratto aromatico fruttato proveniente da un vino bianco Chardonnay causava una significativa diminuzione della percezione dell'astringenza globale in diverse matrici di vino rosso. Successivamente, il risultato non è stato confermato (Sáenz-Navajas et al., 2020). Il descrittore di frutta disidratata ha mostrato correlazioni positive con l'astringenza secca ( $r = 0.459$ ;  $p < 0.0001$ ) e dura ( $r = 0.286$ ), e negative con la rotondità superficiale ( $r = -0.341$ ). Ciò potrebbe suggerire che queste tre sub-qualità sono parti di una sensazione unica, dove la rotondità superficiale (astringenza vellutata) corrisponde al complemento di sensazioni forti come l'astringenza secca e dura. Una considerazione simile è stata recentemente riportata per i descrittori orali di astringenza setosa e secca (Sáenz-Navajas et al., 2020). La frutta secca è stato l'unico descrittore di odore mai correlato con le variabili sensoriali orali. Gli odori floreali hanno mostrato relazioni molto deboli: positive con la sensazione complessa ( $r = 0.275$ ) e negative con quella dura ( $r = -0.284$ ). Gli odori vegetali sono risultati gli unici correlati a 4 sub-qualità. La correlazione con l'astringenza acerba ( $r = 0.385$ ;  $p < 0.0001$ ) e la rotondità superficiale ( $r = 0.237$ ) è risultata positiva mentre la correlazione con l'astringenza secca ( $r = -0.340$ ) e dinamica ( $r = -0.291$ ) è risultata negativa. Gli odori speziati sono risultati correlati solo all'astringenza complessa ( $r = 0.462$ ;  $p < 0.0001$ ) ma con il coefficiente più grande sia all'interno dell'intero dataset, sia rispetto agli altri odori correlati a questa sub-qualità: fruttato e floreale positivamente e odori sgradevoli ( $r = -0.307$ ) negativamente.

Queste relazioni si basano solo su un approccio statistico e, come già detto, i bassi valori di r suggeriscono un effetto casuale. Tuttavia, le 3 correlazioni più alte e significative ( $p < 0.0001$ ) che sono state rilevate - speziato e complesso, frutta disidratata e secco, vegetale e acerbo - sembrano trovare supporto da un punto di vista cognitivo. Infatti, secondo la Figura 1b, i Raboso erano i vini più speziati, e dopo la deodorizzazione la loro astringenza è stata percepita come significativamente ( $p < 0.05$ ) meno complessa (Figura 2a), confermando la correlazione significativa e positiva precedentemente riportata ( $r = 0.462$ ). Il Nebbiolo è risultato caratterizzato da odori di frutta disidratata (Figura 1b) e l'astringenza media del Nebbiolo deodorizzato è stata percepita come meno secca ( $p < 0.1$ ), in linea con la correlazione positiva riscontrata ( $r = 0.459$ ). Infine, in accordo con la correlazione positiva significativa ( $r = 0.385$ ) tra odori vegetali e astringenza acerba, nei vini Corvina, che erano fortemente caratterizzati da note vegetali (Figura 1b), l'astringenza acerba è stata percepita significativamente ( $p < 0.05$ ) meno intensa in DW rispetto a WW (Figura 2c). Un riscontro simile (anche se non significativo) è stato osservato per il Cannonau, che era l'unico altro vino mono-varietale associato a odori

vegetali (Figura 1b). Il carattere verde è risultato correlato negativamente alla preferenza dei consumatori per i vini rossi, e intensificato da note vegetali e mascherato da note legnose (Sáenz-Navajas et al., 2018). I nostri risultati supportano entrambe queste conclusioni: gli odori legnosi erano significativamente ( $p < 0.05$ ) correlati con l'astringenza acerba, anche se con un piccolo coefficiente di correlazione negativo ( $r = -0.257$ ). Inoltre, le note alcoliche erano correlate negativamente ( $r = -0.340$ ) con l'astringenza acerba. Questi risultati sono interessanti e richiedono un approfondimento con ulteriori esperimenti. Tra caratteristiche olfattive e sensazioni gustative sono state rilevate poche correlazioni significative e, anche in questo caso, con valori di  $r$  molto bassi. Il gusto dolce non è risultato correlato ad alcun odore, mentre l'acidità è risultata correlata positivamente alle note floreali e l'amaro ha mostrato una bassa correlazione negativa con il floreale e una correlazione positiva con le note di frutta disidratata e gli odori sgradevoli. Quest'ultimo descrittore è stato inteso come comprensivo di diversi tipi di difetti olfattivi del vino (fenolico, sulfureo, odore di sughero, maderizzato/ossidato); tuttavia, l'odore sgradevole più citato era l'odore fenolico/stalla/animale. Per questo motivo, la correlazione positiva evidenziata tra il gusto amaro e gli odori sgradevoli sembra supportare risultati precedenti (De-la-Fuente-Blanco et al., 2017), secondo i quali l'amaro era esaltato dagli aromi animali.

Nel complesso, i nostri risultati suggeriscono che durante la degustazione del vino rosso, le interazioni intermodali tra odori e caratteristiche orali potrebbero modulare la percezione di specifiche sub-qualità di astringenza e gusti. Caratteristiche olfattive specifiche come frutta disidratata, odori speziati e vegetali, potrebbero guidare questo effetto di modulazione per le sub-qualità complessa, secca e acerba, e questo dovrebbe essere ulteriormente esplorato da esperimenti specifici.

## 2. Caratteristiche olfattive e correlazioni tra variabili sensoriali e chimiche

Una delle sfide della ricerca in campo enologico è sviluppare metodi analitici in grado di prevedere l'astringenza percepita. Diversi studi hanno indagato la correlazione tra l'astringenza come parametro sensoriale e le misurazioni basate essenzialmente su tecniche compositive/metabolomiche (Hufnagel & Hofmann, 2008), spettrofotometriche (ad es. 280 e 230 nm) (Boulet et al., 2016) e di precipitazione (Ferrer -Gallego et al., 2012). Grazie a questi studi e a quelli che indagano come altri componenti del vino (es. etanolo, pH, ecc.) possono influenzare la percezione dell'astringenza, le nostre conoscenze su questo stimolo sensoriale si sono notevolmente ampliate. Tuttavia, la maggior parte di questi studi hanno testato la correlazione tra le sostanze chimiche e l'astringenza globale, ma non ha rivolto attenzione alle diverse sub-qualità di questo attributo.

Secondo i nostri recenti risultati (Piombino et al., 2020) e alcuni ulteriori studi su questo argomento (Sáenz-Navajas et al., 2020; Vidal et al., 2018), gli attuali metodi analitici non sono in grado di prevedere l'astringenza in tutte le sue sfaccettature sensoriali, e il loro potere predittivo varia a seconda del parametro/metodo applicato. È possibile che le interazioni intermodali tra odori e caratteristiche orali possono influenzare le correlazioni tra parametri chimici e sensoriali, quindi interferire con la stima del loro potere predittivo. Per verificare questa ipotesi, abbiamo testato le correlazioni di Pearson tra parametri sensoriali (sub-qualità di astringenza e gusti) e chimici (fenoli totali, proantocianidine totali, etanolo, zuccheri residui, pH, acidità titolabile, acidità volatile) nei 74 vini interi (WW) e nei corrispondenti vini deodorizzati (DW). In questo modo, siamo stati in grado di confrontare le correlazioni sotto due diverse condizioni di degustazione: in presenza e in assenza di volatili. Questo confronto è riportato nelle Tabelle 4 e 5, dove sono state riscontrate diverse correlazioni significative ( $p < 0.05$ ,  $p < 0.0001$ ). Nella maggior parte dei casi, l'entità dei coefficienti di correlazione tra parametri chimici e sensoriali è aumentata con la deodorizzazione del vino.

Variabili	Secca		Dura		Acerba		Dinamica		Complessa		Rotondità superficiale		Particolata	
	WW	DW	WW	DW	WW	DW	WW	DW	WW	DW	WW	DW	WW	DW
Fenoli totali (Folin-Ciocalteu) [mg/L]	<b>0.469</b>	<b>0.622</b>	<b>0.284</b>	<b>0.506</b>	-0.189	0.166	<b>0.240</b>	<b>0.599</b>	-0.170	<b>-0.375</b>	<b>-0.292</b>	<b>-0.414</b>	<b>0.238</b>	<b>0.318</b>
Proantocianidine totali [mg/L]	<b>0.561</b>	<b>0.703</b>	<b>0.297</b>	<b>0.577</b>	<b>-0.279</b>	0.110	<b>0.304</b>	<b>0.737</b>	-0.207	<b>-0.427</b>	<b>-0.304</b>	<b>-0.569</b>	0.163	<b>0.295</b>
Etanolo [% v/v]	<b>0.394</b>	<b>0.476</b>	<b>0.262</b>	<b>0.396</b>	<b>-0.264</b>	-0.137	0.094	<b>0.461</b>	0.016	-0.051	-0.178	-0.171	0.069	0.129
Zuccheri residui [g/L]	-0.013	-0.014	-0.015	-0.165	0.059	0.055	-0.057	-0.017	0.206	0.125	0.043	0.196	0.109	-0.055
pH	-0.010	-0.010	<b>0.335</b>	<b>0.466</b>	<b>-0.274</b>	<b>-0.376</b>	-0.023	0.166	0.024	0.165	-0.071	0.106	0.134	0.055
AT [g/L acido tartarico]	0.084	0.163	<b>-0.248</b>	<b>-0.313</b>	<b>0.258</b>	<b>0.493</b>	0.080	-0.066	-0.041	-0.186	0.033	-0.197	-0.032	0.025
AV [g/L acido acetico]	0.193	<b>0.361</b>	0.201	<b>0.447</b>	-0.067	-0.158	0.215	<b>0.413</b>	-0.156	-0.198	-0.056	-0.165	0.051	0.086

Tabella 4. Coefficienti di correlazione (Pearson) tra astringenza e variabili chimiche. Confronto tra WW e DW. In grassetto differenze significative (Tukey,  $p < 0,05$ ) (grigio:  $p < 0,0001$ ).

Da un lato, l'assenza di volatili ha mostrato correlazioni positive più forti tra le sub-qualità secca, dura e dinamica e i polifenoli totali, proantocianidine totali, etanolo e acidità volatile. D'altra parte, le correlazioni negative delle sub-qualità complessa e rotondità superficiale con fenoli totali e proantocianidine era più forte per i DW. Come esempio, per i DW, le proantocianidine totali hanno mostrato coefficienti di correlazione positivi più forti con l'astringenza secca e dinamica, passando rispetto ai WW, da 0.571 a 0.703, e da 0.304 a 0.737, rispettivamente. Le correlazioni tra acidità volatile e le sub-qualità secca, dura e dinamica sono diventate significative per i DW ma non per i WW. Tutti questi risultati confermano precedenti osservazioni sulle correlazioni tra parametri sensoriali e chimici (Piombino et al., 2020; Sáenz-Navajas et al., 2020; Vidal et al., 2018) e mostrano l'impatto delle interazioni sensoriali intermodali tra caratteristiche olfattive e orali sulla percezione del vino rosso. Tra le sub-qualità considerate, in DW, l'acerba è risultata l'unica non correlata con parametri chimici legati ai polifenoli. Questi risultati supportano l'idea che l'astringenza acerba sia una sensazione multisensoriale fortemente influenzata dalle percezioni dei volatili. Come per l'astringenza acerba, anche la sub-qualità complessa è definita come una sensazione orale che include percezioni aromatiche. Tuttavia, a differenza dell'acerba, la grandezza dei coefficienti di correlazione con i fenoli totali e le proantocianidine sono diventati significativi in DW anche se con valori di r bassi.

Le correlazioni rilevate nei WW tra gusti e parametri chimici (Tabella 5) sono state confermate e rafforzate nei DW. L'unica correlazione non significativa nei WW, diventata debolmente significativa nei DW è stata quella tra zuccheri residui e dolcezza (da 0.099 a 0.595). Ciò suggerisce che l'aroma complessivo potrebbe modulare la percezione della dolcezza nel vino rosso, ma sono necessarie ulteriori indagini. La correlazione significativa positiva tra pH e amaro era più forte nei DW.

Variabili	Dolce		Acido		Amaro	
	WW	DW	WW	DW	WW	DW
Fenoli totali (Folin-Ciocalteu) [mg/L]	-0.043	-0.118	-0.089	-0.179	0.168	<b>0.471</b>
Proantocianidine totali [mg/L]	-0.067	-0.163	-0.102	-0.189	0.198	<b>0.498</b>
Etanolo [% v/v]	0.036	0.173	-0.210	<b>-0.331</b>	0.167	<b>0.327</b>
Zuccheri residui [g/L]	0.099	<b>0.595</b>	-0.016	-0.079	0.019	-0.161
pH	-0.022	0.135	<b>-0.508</b>	<b>-0.656</b>	<b>0.371</b>	<b>0.529</b>
TA [g/L acido tartarico]	-0.058	-0.115	<b>0.459</b>	<b>0.621</b>	<b>-0.276</b>	<b>-0.424</b>
VA [g/L acido acetico]	-0.089	0.032	0.000	<b>-0.359</b>	0.145	<b>0.435</b>

Tabella 5. Coefficienti di correlazione (Pearson) tra variabili gustative e chimiche. Confronto tra WW e DW. In grassetto differenze significative (Tukey,  $p < 0,05$ ) (grigio:  $p < 0,0001$ ).

Tra tutte le correlazioni significative menzionate, solo alcune possono essere considerate buone correlazioni ( $r > \pm 0,7$ ). Stando a questo, possiamo concludere che le proantocianidine totali sono il miglior parametro chimico predittivo sia per l'astringenza secca che per quella dinamica, ma la stima del suo potere predittivo è fortemente influenzata dalle interazioni

intermodali tra caratteristiche olfattive e orali. Questa è la prima volta che questo tipo di confronto viene fatto. A nostro avviso, questo approccio, se applicato ad una più ampia varietà di parametri chimici, potrebbe essere utile per ricerche volte a comprendere quali composti e strutture sono legati alle diverse sensazioni tattili. I risultati confermano l'importanza delle interazioni intermodali sulla percezione sensoriale del vino rosso e possono aiutare a ottimizzare gli attuali parametri/metodi analitici predittivi dell'astringenza. In un'ottica di enologia di precisione, questi risultati potrebbero essere utili nella gestione dell'astringenza del vino durante la vinificazione. Solo pochi e recenti studi si concentrano sull'impatto degli stimoli olfattivi sulla percezione delle singole sub-qualità piuttosto che sull'astringenza globale, e nessun esperimento è mai stato condotto in modo sistematico su una gamma rappresentativa della diversità dei vini rossi italiani (Arapitsas et al., 2020; Parpinello et al., 2019; Piombino et al., 2020).



## Riferimenti

- Arapitsas, P.; Ugliano, M.; Marangon, M.; Piombino, P.; Rolle, L.; Gerbi, V.; Versari, A.; Mattivi, F. Use of untargeted Liquid Chromatography–Mass Spectrometry metabolome to discriminate Italian monovarietal red wines, produced in their different terroirs. *J. Agric. Food Chem.* 2020.
- Bate-Smith, E.C. Astringency in foods. *Food Process. Packag.* 1954, 23, 124–127.
- Bate-Smith, E.C. Haemanalysis of tannins, the concept of relative astringency. *Phytochemistry* 1973, 12,907–912.
- Boulet, J.C.; Trarieux, C.; Souquet, J.M.; Ducasse, M.A.; Caillé, S.; Samson, A.; Williams, P.; Doco, T.; Cheyrier, V. Models based on ultraviolet spectroscopy, polyphenols, oligosaccharides and polysaccharides for prediction of wine astringency. *Food Chem.* 2016, 190, 357–363.
- Cameleyre, M.; Lytra, G.; Barbe, J.C. Static headspace analysis using low-pressure gas chromatography and mass spectrometry, application to determining multiple partition coefficients: A practical tool for understanding red wine fruity volatile perception and the sensory impact of higher alcohols. *Anal. Chem.* 2018, 90, 10812–10818.
- Charters, S.; Pettigrew, S. The dimensions of wine quality. *Food Qual. Prefer.* 2007, 18, 997–1007.
- Chen, J.; Engelen, L. *Food Oral Processing: Fundamentals of Eating and Sensory Perception*; Wiley-Blackwell; John Wiley & Sons Ltd.: Chichester, UK, 2012.
- Chironi, S.; Ingrassia, M. Wine label design as a strategic tool to attract consumers: A marketing study on Sicilian wine positioning work. *Riv. di Econ. Agrar.* 2013, 1, 7–21.
- De-la Fuente-Blanco, A.; Sáenz-Navajas, M.P.; Ferreira, V. Levels of higher alcohols inducing aroma changes and modulating experts' preferences in wine model solutions. *Aust. J. Grape Wine Res.* 2016, 23, 162–169.
- De-la-Fuente-Blanco, A.; Fernández-Zurbano, P.; Valentin, D.; Ferreira, V.; Sáenz-Navajas, M.P. Cross-modal interactions and effects of the level of expertise on the perception of bitterness and astringency of red wine. *Food Qual. Prefer.* 2017, 62, 155–161.
- Di Stefano, R.; Cravero, M.C.; Gentilini, N. Metodi per lo studio dei polifenoli dei vini. *L'Enotecnico* 1989, 25, 83–89.
- Ferrer-Gallego, R.; Hernández-Hierro, J.M.; Rivas-Gonzalo, J.C.; Escribano-Bailón, M.T. Sensory evaluation of bitterness and astringency sub-qualities of wine phenolic compounds: Synergistic effect and modulation by odours. *Food Res. Int.* 2014, 62, 1100–1107.
- Ferrer-Gallego, R.; Rui, G.; Rivas-Gonzalo, J.C.; Escribano-Bailón, M.T. Interaction of phenolic compounds with bovine serum albumin (BSA) and  $\alpha$ -amylase and their relationship to astringency perception. *Food Chem.* 2012, 135, 651–658.
- Fontoin, H.; Saucier, C.; Teissedre, P.L.; GLories, Y. Effect of pH, ethanol and acidity on astringency and bitterness of grape seed tannin oligomers in model wine solution. *Food Qual. Prefer.* 2008, 19, 286–291.
- Gawel, R.; Oberholster, A.; Francis, I.L. A “Mouth-feel Wheel”: Terminology for communicating the mouth feel characteristics of red wine. *Aust. J. Grape Wine Res.* 2000, 6, 203–207.
- Genovese, A.; Dimaggio, R.; Lisanti, M.T.; Piombino, P.; Moio, L. Aroma composition of red wines by different extraction methods and gas chromatography SIM/mass spectrometry analysis. *Ann. Chim.* 2005, 95, 383–394.
- Guth, H. Quantitation and sensory studies of character impact odorants of different white wine varieties. *J. Agric. Food Chem.* 1997, 45, 3027–3032.
- Hort, J.; Hollowood, T.A. Controlled continuous flow delivery system for investigating taste–aroma interactions. *J. Agric. Food Chem.* 2004, 52, 4834–4843.

Hufnagel, J.C.; Hofmann, T. Quantitative reconstruction of the nonvolatile sensometabolome of a red wine. *J. Agric. Food Chem.* 2008, 56, 9190–9199.

ISO. 3951. Sensory Analysis—Apparatus—Wine-Tasting Glass; International Organization for Standardization: Geneva, Switzerland, 1997.

ISO. 4120. Sensory Analysis—Methodology—Triangle Test; International Organization for Standardization: Geneva, Switzerland, 2004.

ISO. 8589. Sensory Analysis—General Guidance for the Design of Test Rooms; International Organization for Standardization: Geneva, Switzerland, 2007.

Jiang, Y.; Gong, N.N.; Matsunami, H. Astringency: A more stringent definition. *Chem. Senses* 2014, 39, 467–469.

Kallithraka, S.; Bakker, J.; Clifford, M.N. Evidence that salivary proteins are involved in astringency. *J. Sens. Stud.* 1998, 13, 29–43.

Li, H. Wine Tasting; China Science Press: Beijing, China, 2006.

Lytra, G.; Tempere, S.; de Revel, G.; Barbe, J.C. Impact of Perceptive Interactions on Red Wine Fruity Aroma. *J. Agric. Food Chem.* 2012, 60, 12260–12269.

Muñoz-González, C.; Feron, G.; Guichard, E.; Rodríguez-Bencomo, J.J.; Martín-Álvarez, P.J.; Moreno-Arribas, M.V.; Pozo-Bayón, M.A. Understanding the Role of Saliva in Odour Release from Wine by Using Static and Dynamic Headspace Conditions. *J. Agric. Food Chem.* 2014, 62, 8274–8288.

Noble, A.C. Taste-aroma interactions. *Trends Food Sci. Technol.* 1996, 7, 439–444.

Organisation Internationale de la Vigne et du Vin. Compendium of International Methods of Must and Wine Analysis; Organisation Internationale de la Vigne et du Vin: Paris, France, 2015.

Paronetto, L.; Dellaglio, F. Amarone: A modern wine coming from an ancient production technology. *Adv. Food Nutr. Res.* 2011, 63, 285–306.

Parpinello, G.P.; Ricci, A.; Arapitsas, P.; Curioni, A.; Moio, L.; Segade, S.R.; Ugliano, M.; Versari, A. Multivariate characterisation of Italian monovarietal red wines using MIR spectroscopy. *OENO One* 2019, 4, 741–751.

Peynaud, E. The Taste of Wine: The Art and Science of Wine Appreciation; Macdonald Orbis: London, UK, 1987.

Piombino, P.; Genovese, A.; Gambuti, A.; Lamorte, S.A.; Lisanti, M.T.; Moio, L. Effects of off-vine bunches shading and cryomaceration on free and glycosylated flavours of Malvasia delle Lipari wine. *Int. J. Food Sci. Technol.* 2010, 45, 234–244.

Piombino, P.; Moio, L.; Genovese, A. Orthonasal vs. retronasal: Studying how volatiles' hydrophobicity and matrix composition modulate the release of wine odorants in simulated conditions. *Food Res. Int.* 2019, 116, 548–558.

Piombino, P.; Pittari, E.; Gambuti, A.; Curioni, A.; Giacosa, S.; Mattivi, F.; Parpinello, G.P.; Rolle, L.; Ugliano, M.; Moio, L. Preliminary sensory characterisation of the diverse astringency of single cultivar Italian red wines and correlation of sub-qualities with chemical composition. *Aust. J. Grape Wine Res.* 2020, 26, 233–246, and references therein.

Pittari, E.; Moio, L.; Arapitsas, P.; Curioni, A.; Gerbi, V.; Parpinello, G.P.; Ugliano, M.; Piombino, P. Exploring Olfactory–Oral Cross-Modal Interactions through Sensory and Chemical Characteristics of Italian Red Wines. *Foods* 2020, 9, 1530.

Pittari, E.; Moio, L.; Piombino, P. Interactions between Polyphenols and Volatile Compounds in Wine: A Literature Review on Physicochemical and Sensory Insights. *Appl. Sci.* 2021, 11, 1157.

Poinot, P.; Arvisenet, G.; Ledauphin, J.; Gaillard, J.L.; Prost, C. How can aroma-related cross-modal interactions be analysed? A review of current methodologies. *Food Qual. Prefer.* 2013, 28, 304–316.

Prescott, J. Chemosensory learning and flavour: Perception, preference and intake. *Physiol. Behav.* 2012, 107, 553–559.

Rodríguez-Bencomo, J.J.; Muñoz-González, C.; Andújar-Ortiz, I.; Martín-Álvarez, P.J.; Moreno-Arribas, M.V.; Pozo-Bayón, M.A. Assessment of the effect of the non-volatile wine matrix on the volatility of typical wine aroma compounds by headspace solid phase microextraction/gas chromatography analysis. *J. Agric. Food Chem.* 2011, 91, 2484–2494.

Sáenz-Navajas, M.P.; Arias, I.; Ferrero-del-Teso, S.; Fernández-Zurbano, P.; Escudero, A.; Ferreira, V. Chemo-sensory approach for the identification of chemical compounds driving green character in red wines. *Food Res. Int.* 2018, 109, 138–148.

Sáenz-Navajas, M.P.; Avizcuri, J.M.; Echávarri, J.F.; Ferreira, V.; Fernández-Zurbano, P.; Valentin, D. Understanding quality judgements of red wines by experts: Effect of evaluation condition. *Food Qual. Prefer.* 2016, 48, 216–227.

Sáenz-Navajas, M.P.; Campo, E.; Avizcuri, J.M.; Valentin, D.; Fernández-Zurbano, P.; Ferreira, V. Contribution of non-volatile and aroma fractions to in-mouth sensory properties of red wines: Wine reconstitution strategies and sensory sorting task. *Anal. Chim. Acta* 2012, 732, 64–72.

Sáenz-Navajas, M.P.; Campo, E.; Cullere, L.; Fernández-Zurbano, P.; Valentin, D.; Ferreira, V. Effects of the nonvolatile matrix on the aroma perception of wine. *J. Agric. Food Chem.* 2010a, 58, 5574–5585.

Sáenz-Navajas, M.P.; Campo, E.; Fernández-Zurbano, P.; Valentin, D.; Ferreira, V. An assessment of the effects of wine volatiles on the perception of taste and astringency in wine. *Food Chem.* 2010b, 121, 1139–1149.

Sáenz-Navajas, M.P.; Ferrero-del-Teso, S.; Jeffery, D.W.; Ferreira, V.; Fernández-Zurbano, P. Effect of aroma perception on taste and mouthfeel dimensions of red wines: Correlation of sensory and chemical measurements. *Food Res. Int.* 2020, 131, 108945.

Schöbel, N.; Radtke, D.; Kyereme, J.; Wollmann, N.; Cichy, A.; Obst, K.; Hatt, H. Astringency is a trigeminal sensation that involves the activation of G protein-coupled signaling by phenolic compounds. *Chem. Senses* 2014, 39, 71–487.

Sereni, A.; Osborne, J.; Tomasino, E. Exploring retro-nasal aroma's influence on mouthfeel perception of Chardonnay wines. *Beverages* 2016, 2, 7.

Singleton, V.L.; Orthofer, R.; Lamuela-Raventós, R.M. Analysis of total phenols and other oxidation substrates and antioxidants by means of Folin-Ciocalteu reagent. *Methods Enzymol.* 1999, 299, 152–178.

Slaghenaufi, D.; Ugliano, M. Norisoprenoids, sesquiterpenes and terpenoids content of Valpolicella wines during aging: Investigating aroma potential in relationship to evolution of tobacco and balsamic aroma in aged wine. *Front. Chem.* 2018, 6, 66.

Small, D.M.; Prescott, J. Odor/taste integration and the perception of flavor. *Exp. Brain Res.* 2005, 166, 345–357.

Soares, S.; Brandão, E.; Mateus, N.; de Freitas, V. Sensorial properties of red wine polyphenols: Astringency and bitterness. *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.* 2017, 57, 937–948.

Soares, S.; Vitorino, R.; Osório, H.; Fernandes, A.; Venâncio, A.; Mateus, N.; Amado, F.; de Freitas, V. Reactivity of human salivary proteins families toward food polyphenols. *J. Agric. Food Chem.* 2011, 59, 5535–5547.

Stalikas, C.D. Extraction, separation, and detection methods for phenolic acids and flavonoids. *J. Sep. Sci.* 2007, 30, 3268–3295.

Symoneaux, R.; Guichard, H.; Le Quéré, J.M.; Baron, A.; Chollet, S. Could cider aroma modify cider mouthfeel properties? *Food Qual. Prefer.* 2015, 45, 11–17.

Torchio, F.; Cagnasso, E.; Gerbi, V.; Rolle, L. Mechanical properties, phenolic composition and extractability indices of Barbera grapes of different soluble solids contents from several growing areas. *Anal. Chim. Acta* 2010, 660, 183–189.

Vecchio, R.; Lisanti, M.T.; Caracciolo, F.; Cembalo, L.; Gambuti, A.; Moio, L.; Siani, T.; Marotta, G.; Nazzaro, C.; Piombino, P. The role of production process and information on quality expectations and perceptions of sparkling wines. *J. Sci. Food Agric.* 2019, 99, 124–135.

Vidal, L.; Antúnez, L.; Giménez, A.; Medina, K.; Boido, E.; Ares, G. Sensory characterization of the astringency of commercial Uruguayan Tannat wines. *Food Res. Int.* 2017, 102, 425–434.

Vidal, L.; Antúnez, L.; Rodríguez-Haralambides, A.; Giménez, A.; Medina, K.; Boido, E.; Ares, G. Relationship between astringency and phenolic composition of commercial Uruguayan Tannat wines: Application of boosted regression trees. *Food Res. Int.* 2018, 112, 25–37.

Vidal, L.; Giménez, A.; Medina, K.; Boido, E.; Ares, G. How do consumers describe wine astringency? *Food Res. Int.* 2015, 78, 321–326.

Watrelet, A.A.; Kuhl, T.L.; Waterhouse, A.L. Friction forces of saliva and red wine on hydrophobic and hydrophilic surfaces. *Food Res. Int.* 2018, 116, 1041–1046.