

# Valutare la sensibilità dei vini all'ossidazione mediante un test di resistenza all'aria monitorato con la voltammetria: la capacità dei composti fenolici di formare complessi con gli ioni Fe(II) e Fe(III) potrebbe spiegare la longevità dei vini.

C Pascal<sup>1</sup>, N Champeau<sup>1</sup>, E Charpentier<sup>1</sup>, E Brenon<sup>1</sup>, JB Diéval<sup>1</sup>, S Vidal, M Moutounet<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Vinventions, team enologico, Francia

<sup>2</sup> Consulente freelance, Montpellier, Francia

Una delle principali sfide dell'enologo è quella di valutare la capacità di un vino di resistere alla comparsa di segni di ossidazione, in modo da adattare il percorso tecnico al suo obiettivo di profilo e durata di vita.

In pratica, i segni dell'ossidazione nei vini sono descritti come un cambiamento di colore con la comparsa di sfumature arancioni, un cambiamento aromatico descritto come una perdita di note varietali (bosso, frutto della passione) e/o la comparsa di note cosiddette ossidative (miele, cera, cioccolato, pietra, frutta secca, erba secca, noci, ecc.), e talvolta un cambiamento dell'equilibrio gustativo con un aumento dell'astringenza e/o una perdita di grasso. Questi diversi segni di ossidazione possono comparire in successione o contemporaneamente, senza che la comparsa di uno di questi segni sia indicativa della possibile comparsa di un altro.

Il punto in cui un vino è considerato ossidato dipende dall'accettabilità di queste caratteristiche in relazione al tipo di prodotto e all'intento dell'enologo. Ad esempio, è accettabile, se non addirittura auspicabile, la presenza di note di frutta secca nei vini dolci naturali (es. passiti), ma non nei vini Sauvignon Blanc secchi di alcune denominazioni, che devono mantenere note di agrumi o di frutta esotica.

Valutare la capacità di un vino di resistere all'ossidazione equivale a determinare attraverso un test predittivo la sua capacità di invecchiamento e la sua longevità, purché sia conservato nelle condizioni adeguate.

Nel vino, alcune molecole sono note per le loro capacità antiossidanti, ad esempio i composti fenolici o gli antiossidanti aggiunti durante il processo, come i solfiti. Di conseguenza, la valutazione della concentrazione di antiossidanti è stata considerata come in grado di prevedere la longevità di un vino. La valutazione può essere effettuata con diversi metodi, che generalmente consistono nel valutare la capacità del vino di catturare i radicali, di reagire con diversi tipi di ossidanti (test DPPH, ABTS, FRAP, analisi di Folin Ciocalteu) o di ossidarsi su elettrodi di un determinato tipo (voltammetria). Infine, è stato dimostrato che il contenuto antiossidante di un vino è fortemente correlato alla concentrazione di composti fenolici (Büyüktüncel *et al.* 2014; Romanet *et al.* 2019; de Beer *et al.* 2004, 2006; Kilmartin 2001).



Diversi studi hanno dimostrato che la concentrazione di antiossidanti diminuisce con l'ossidazione dei vini (Rodrigues *et al.* 2007, Ugliano 2013 e 2019). In generale, i vini più vecchi contengono meno antiossidanti di quelli più giovani (Rodrigues *et al.* 2007), ma la variabilità delle annate e dei processi di vinificazione (in particolare le fasi di estrazione dei composti fenolici) fa sì che l'età di un vino non possa essere determinata dalla sua concentrazione di antiossidanti (Romanet *et al.* 2019). Infine, il basso contenuto di antiossidanti di un vino è stato correlato alla presenza nei profili sensoriali di note associate all'evoluzione ossidativa dei vini (Romanet *et al.* 2019). Tuttavia, questi studi non dimostrano che il contenuto di antiossidanti sia predittivo della capacità di un vino di resistere all'ossidazione.

Per fare un collegamento con le pratiche enologiche, se il contenuto intrinseco di composti fenolici (i principali responsabili del contenuto di antiossidanti) fosse un indicatore della capacità di un vino di resistere alla comparsa di note ossidative, gli enologi utilizzerebbero a questo scopo l'indice di Folin o addirittura l'indice di polifenoli totali. Al contrario, attualmente gli enologi valutano questa capacità in modo empirico, assaggiando prima e dopo il contatto con l'aria (test di resistenza all'aria). Vengono valutati i cambiamenti nel profilo sensoriale del vino, in particolare la comparsa di note considerate ossidative.

Questo articolo presenta lo sviluppo di un metodo per determinare la sensibilità dei vini all'ossidazione. I campioni di vino sono stati selezionati empiricamente dagli enologi e sottoposti a un test di resistenza all'aria monitorato mediante voltammetria a scansione lineare. È stata osservata una diversa evoluzione del segnale voltammetrico per i vini categorizzati empiricamente come resistenti all'ossidazione e sensibili all'ossidazione. Infine, è stato registrato il segnale voltammetrico della catechina in soluzione idroalcolica in presenza e in assenza di ioni Fe(II) e Fe(III) in atmosfera inerte, consentendo di avanzare ipotesi sul coinvolgimento di complessi composti fenolici-Fe(II) o ioni Fe(III) nelle registrazioni ottenute e sui meccanismi alla base di questo test.

## Materiali e metodi

134 campioni di vino (87 rossi, 32 bianchi e 15 rosati di diverse regioni francesi e spagnole) sono stati selezionati al termine della fermentazione alcolica o malolattica da enologi esperti (responsabili di cantina o enologi consulenti con diversi anni di esperienza nella zona di produzione in questione e che generalmente includono la micro-ossigenazione in alcuni dei loro protocolli tecnici). Per ogni campione, l'enologo ha valutato empiricamente il rischio di ossidazione precoce del vino attraverso la degustazione, classificandolo come resistente o sensibile all'ossidazione. I campioni di vino sono stati prelevati da bottiglie da 750 ml precedentemente inertizzate, riempite fino a traboccare e chiuse con un tappo a vite. Questi vini sono stati sottoposti a un test di resistenza all'aria prelevando 50 ml di campione con una pipetta volumetrica e mettendolo in una bottiglia da 125 ml. Le misure di voltammetria a scansione lineare (0-600 mV, 100 mV/s, passi di 10 mV) sono state effettuate all'apertura della bottiglia e poi dopo 2 ore, utilizzando un potenziostato ([WQS Polyscan](#), [Vinventions](#)), su elettrodi stampati (elettrodo di lavoro in carbonio, [Vinventions](#)). I potenziali sono espressi in relazione a un elettrodo di riferimento Ag/AgCl.

Le soluzioni di catechina (1150,0 mg/L e 1165,0 mg/L), solfato di ferro (10,3 mg/L) e cloruro di ferro (10,7 mg/L) sono state preparate in etanolo al 13%, contenente 4,0 g/L di acido tartarico e regolate a pH 3,3 con HCl 1N poi 0,1N. Queste soluzioni madre sono state disaerate mediante gorgogliamento di azoto e poste in una cappa di aspirazione inertizzata mediante lavaggio con azoto. La % di O<sub>2</sub> nella cappa è stata monitorata da un [Nomasense](#)



[O2 P300 \(Vinventions\)](#) e mantenuta a meno del 2% per tutta la durata del test. Le curve intensità-potenziale delle soluzioni madre appena preparate e della miscela 50/50 v/v catechina/ione Fe sono state registrate in triplicato come precedentemente descritto utilizzando la voltammetria a scansione lineare.

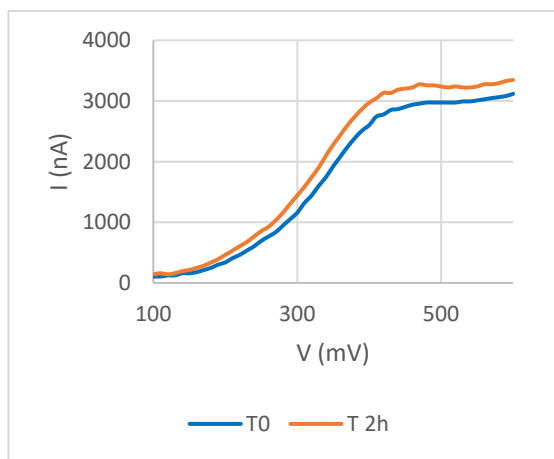
## Risultati

### *Osservazione delle variazioni dei segnali voltammetrici durante i test di resistenza all'aria:*

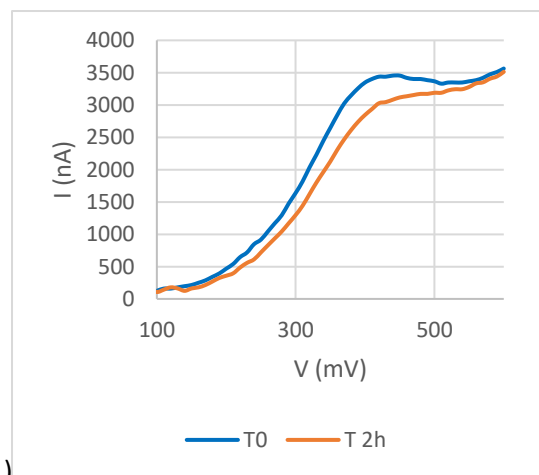
Empiricamente, il test di resistenza all'aria viene effettuato dai vinificatori solo su campioni che non sono stati sottoposti a contatto con l'ossigeno nei giorni precedenti. Per avvicinarsi a queste condizioni, i test di resistenza all'aria sono stati effettuati qui solo su campioni conservati per 3 settimane prima della misurazione in assenza di O<sub>2</sub>. Il 58% dei campioni selezionati dai vinificatori è stato categorizzato empiricamente come resistente all'ossidazione.

Il confronto tra le curve intensità/potenziale ottenute su un vino subito dopo l'apertura della bottiglia campione e quelle ottenute dopo 2 ore di contatto con l'aria ha rivelato diversi cambiamenti nei segnali.

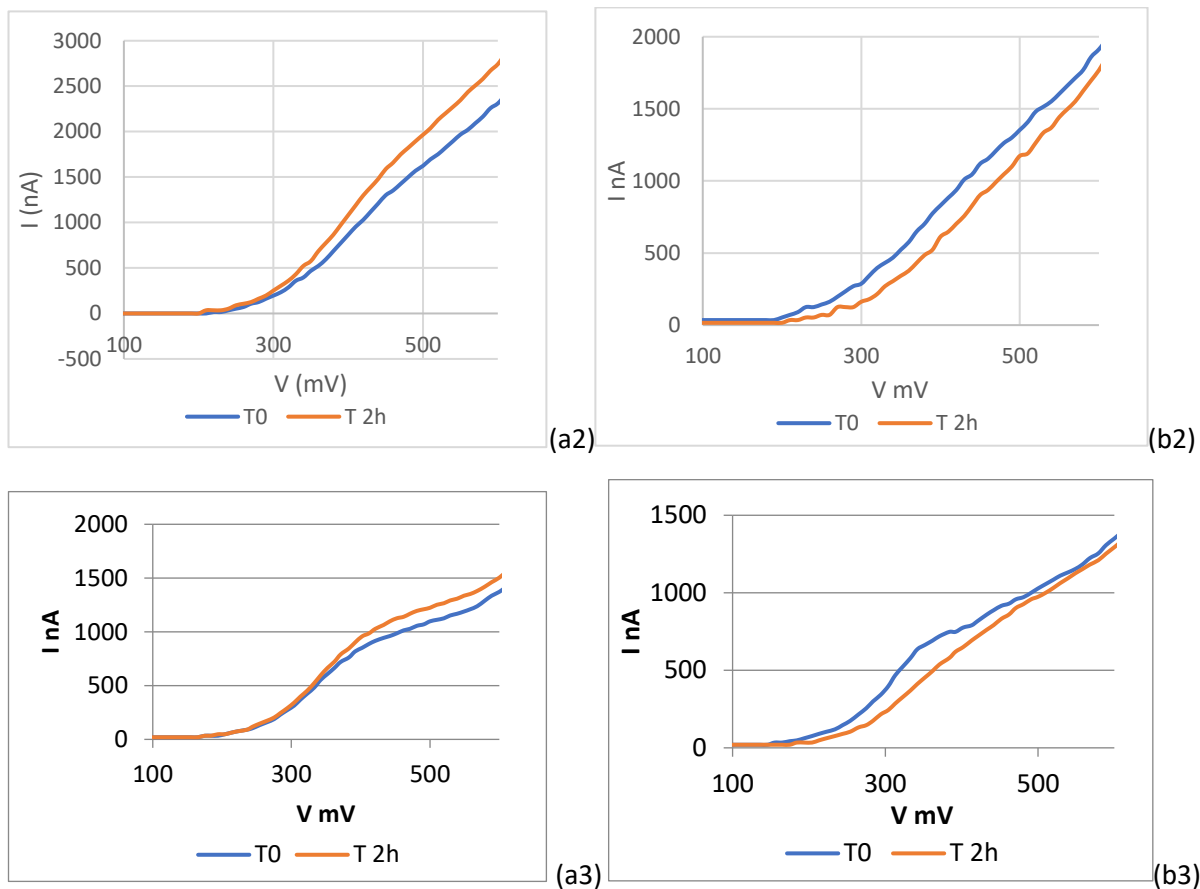
Per 47 dei 134 vini, è stato osservato un aumento significativo dell'intensità (superiore al 5%, l'incertezza di misura del metodo) nell'intervallo 100-600 mV è stato osservato sulla misura effettuata dopo 2 ore di contatto con l'aria (Figura 1 (a)). I 47 campioni di questo gruppo erano stati tutti caratterizzati come resistenti all'ossidazione dagli enologi. Nessuno dei campioni "sensibili all'ossidazione" ha mostrato questo comportamento.



(a1)



(b1)



**Figura 1: Curve intensità/potenziale di un vino misurate quando il campione viene posto a contatto con l'aria (T0) e poi dopo 2 ore di contatto. (a) campioni descritti come resistenti all'ossidazione dagli enologi (b) campioni descritti come sensibili all'ossidazione dagli enologi. (a1) e (b1): vini rossi. (a2) e (b2): vini rosati. (a3) e (b3): vini bianchi.**

Per 38 dei 147 campioni, invece, è stata osservata una diminuzione significativa dell'intensità (superiore al 5%, l'incertezza di misura del metodo) nell'intervallo 100-600 mV è stata osservata sulla misura effettuata dopo 2 ore di contatto con l'aria (Figura 1 (b)). Questi 38 vini erano stati tutti caratterizzati come sensibili all'ossidazione dagli enologi. Nessuno dei campioni caratterizzati come "resistenti all'ossidazione" ha mostrato questo comportamento.

Per i restanti 49 vini, la variazione di intensità tra la misura iniziale e quella registrata dopo 2 ore di contatto con l'aria non è stata significativa. Questi vini potrebbero potenzialmente avere un comportamento ossidativo meno marcato rispetto alle 2 categorie sopra descritte, rendendo il test meno sensibile alla loro discriminazione. Peraltro, nella categorizzazione dei vinificatori non è stata richiesta una scala di intensità di resistenza o sensibilità all'ossidazione, il che significa che non è stato possibile distinguere questa categoria di vini, successivamente definita "intermedia".

Il test sembra essere in grado di classificare i vini:

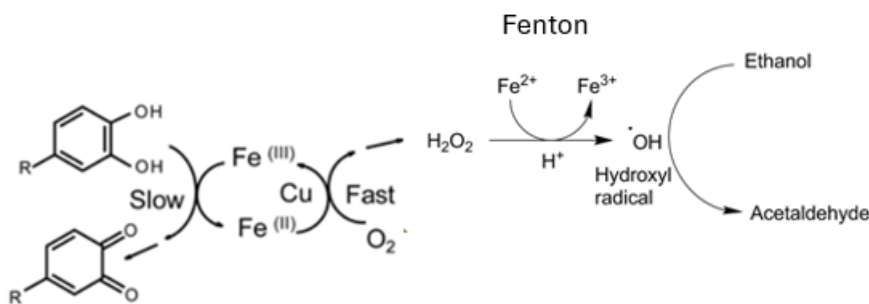


- quelli che mostrano un aumento del segnale tra la misurazione iniziale e quella effettuata dopo 2 ore di contatto con l'aria sembrano essere sistematicamente resistenti all'ossidazione,
- Quelli che mostrano un calo del segnale tra queste due misure sembrano essere sistematicamente sensibili all'ossidazione.

## *Impatto della complessazione degli ioni Fe(II) e Fe(III) da parte dei composti fenolici sul segnale voltammetrico*

Nel tentativo di spiegare il meccanismo chimico alla base del test, sono stati effettuati ulteriori lavori in una soluzione modello, in un ambiente inerte. A titolo informativo, è stato dimostrato (Kilmartin *et al.* 2002, Ugliano *et al.* 2019) che la voltammetria ad elettrodi di carbonio può essere utilizzata per analizzare i composti fenolici.

È stato altresì considerato che il meccanismo di ossidazione nei vini (Figura 2) sotteso dal ciclo redox della coppia Fe(II)/Fe(III) (Ribereau Gayon 1931, Danilewicz 2018, du Toit *et al.* 2006, Waterhouse e Laurie 2006).



**Figura 2: Meccanismo di ossidazione del vino, adattato da Danilewicz (2007)**

Inoltre, questi stessi ioni Fe(II) e Fe(III) sono noti per formare complessi con composti fenolici, in particolare strutture con un anello B di- o tri-idrossilato (Amorim Porfírio *et al.* 2014).<sup>2+2+</sup>Recentemente, diversi studi (Le Nest *et al.* 2004, Amorim Porfírio *et al.* 2014) hanno evidenziato che i complessi tra composti fenolici e alcuni ioni metallici (Zn, Fe) possono presentare curve intensità/potenziale diverse da quelle del composto fenolico in assenza di ioni metallici. Il segnale del complesso è spesso più elevato. In questi studi sono stati analizzati diversi composti fenolici modello (morina, quercetina, fisetina, catechina, crisina, taxifolina, ecc.) che mostrano impatti diversi della complessazione sui rispettivi segnali voltammetrici. Tuttavia, questi studi sono stati condotti a pH neutro per riprodurre le condizioni fisiologiche e non mostrano il segnale del complesso composto fenolico-Fe(III). Poiché il vino ha un pH acido e gli acidi organici, in particolare l'acido tartarico, sono noti per complessare gli ioni Fe(II) e Fe(III), il segnale voltammetrico della catechina, scelta come composto fenolico modello per questo studio, è stato registrato in una soluzione modello di vino (soluzione idroalcolica al 13%, acido tartarico 4 g/L, pH 3.5) prima e dopo l'aggiunta indipendente di ioni Fe(II) e Fe(III) in atmosfera inerte per evitare l'instaurarsi del meccanismo di



ossidazione (eseguita in una cappa inertizzata con flusso di azoto, soluzioni preventivamente deaerate). L'aggiunta indipendente di ioni Fe(II) e Fe(III) alla soluzione di catechina ha prodotto cambiamenti nella curva di intensità di potenziale registrata per la sola catechina (Figura 3), suggerendo che la complessazione catechina - ioni Fe(II) e Fe(III) ha effettivamente avuto luogo nelle condizioni del vino modello e ha avuto un impatto sul segnale voltammetrico. È stato osservato che il segnale voltammetrico del complesso catechina-Fe(II) era vicino a quello della catechina (Figura 3 (b)), come osservato da Porfirio et al (2014), o addirittura leggermente inferiore tra 450 e 500 mV. Al contrario, il segnale del complesso catechina-Fe(III) era significativamente più alto di quello della sola catechina tra 450 e 600 mV (Figura 3 (a)).

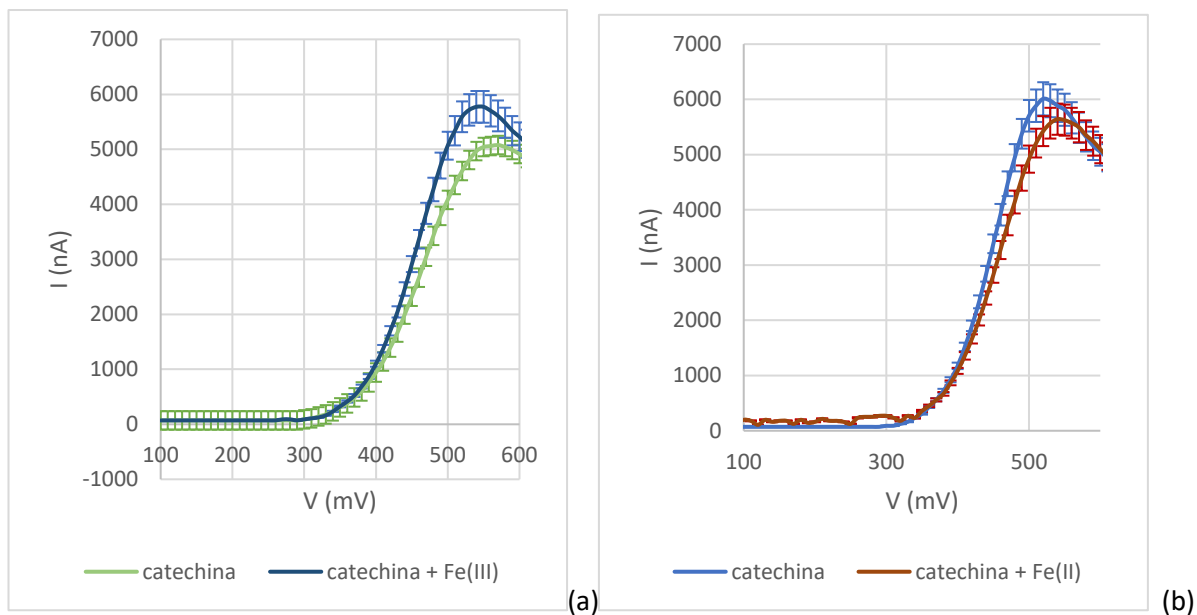


Figura 3: Curve di intensità potenziale per : (a) catechina (1150mg/L, soluzione idroalcolica al 13%, pH 3,3, acido tartarico 4g/L) in assenza o presenza di ioni Fe(III) (5 mg/L) (b) catechina (1165mg/L, soluzione idroalcolica al 13%, pH 3,3, acido tartarico 4g/L) in assenza o presenza di ioni Fe(II) (5 mg/L)

*La complessazione degli ioni Fe(II) li rende meno disponibili a partecipare alla reazione di Fenton.*

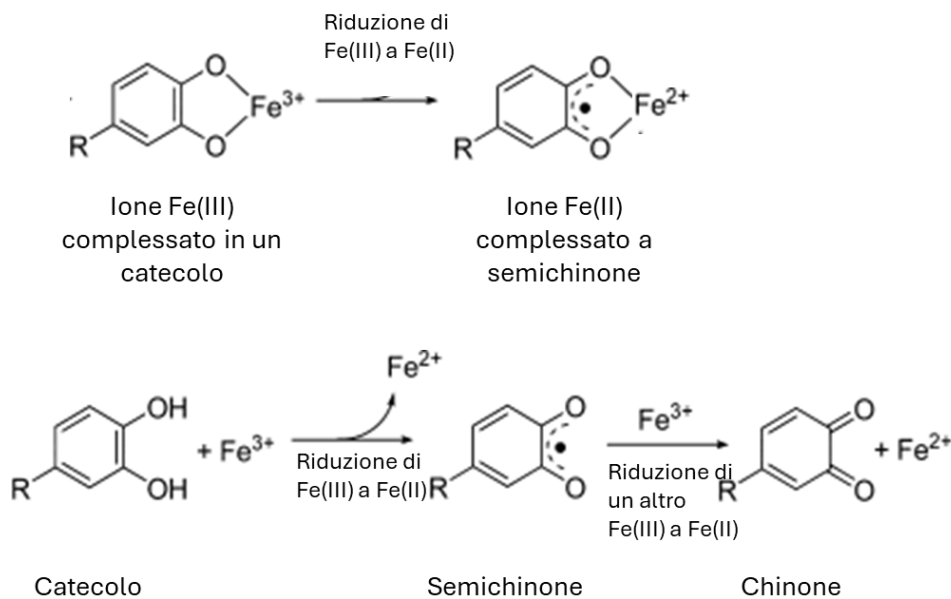
Di conseguenza, sono state avanzate le seguenti ipotesi per spiegare l'evoluzione delle curve intensità-potenziale di un determinato vino dopo 2 ore di contatto con l'aria.

La prima misurazione viene effettuata subito dopo l'apertura del campione, che è stato conservato per un minimo di 3 settimane in condizioni di anossia dopo essere stato prelevato in condizioni inerti. In queste condizioni, gli ioni di ferro sono a priori principalmente nella forma Fe(II) (Danilewicz, 2016 e 2018, Nguyen & Waterhouse 2019). Il segnale voltammetrico corrisponde quindi a priori a quello dei composti fenolici o dei complessi composto fenolico-Fe(II), a seconda della capacità dei composti fenolici presenti di complessare gli ioni Fe.



Dopo 2 ore di contatto con l'aria, è iniziato il meccanismo di ossidazione (Figura 3), con conseguente ossidazione del Fe(II) a Fe(III) e riduzione dell'ossigeno a perossido di idrogeno (Ribereau Gayon 1931, Danilewicz 2018, du Toit *et al.* 2006, Waterhouse e Laurie 2006). Quando si osserva un aumento del segnale, questo potrebbe essere attribuito al contributo dei complessi composti fenolici-Fe(III), il cui segnale appare più elevato rispetto a quello dei complessi composti fenolici-Fe(II), secondo le registrazioni effettuate su soluzioni di catechina. Ciò significherebbe che i vini classificati come resistenti all'ossidazione da questo test hanno un pool di composti fenolici in grado di complessare gli ioni Fe nelle condizioni ambientali di questi vini. L'effetto di chelanti metallici esogeni per stabilizzare i vini contro l'ossidazione è stato considerato da Kreitman *et al.* (2013) a seguito di uno studio in soluzioni modello. Inoltre, in un contesto fisiologico, Lopes *et al.* (1999) hanno suggerito che l'acido tannico limita l'ossidazione del 2-desossiribosio, un componente del DNA, grazie alla sua capacità di chelare gli ioni Fe, rendendo gli ioni Fe(II) indisponibili a partecipare alla reazione di Fenton e limitando quindi la formazione di radicali idrossili HO°. Nel caso dei vini resistenti, è possibile che gli ioni Fe(II) (Figura 4) rimangano complessati al semichinone (Perron *et al.* 2009 e 2010), la forma ossidata del composto fenolico che ha ridotto uno ione Fe(III) a uno ione Fe(II). Non ci sarebbe un proseguimento del meccanismo verso una forma chinonica che ha ridotto 2 ioni Fe(III) e gli ioni Fe(II) resterebbero complessati ai composti fenolici. Perron *et al.* (2010) hanno anche suggerito che la stabilità del complesso composto fenolico-Fe(III) favorirebbe l'autossidazione del Fe(II) complessato. Gli ioni Fe(II) potrebbero quindi essere meno disponibili a reagire con il perossido di idrogeno e dare origine alla reazione di Fenton, il che spiegherebbe la minore comparsa di note descritte come ossidative quando questi vini sono a contatto con l'ossigeno.

D'altra parte, quando il segnale del vino è diminuito dopo 2 ore di contatto con l'aria, è probabile che il meccanismo di ossidazione abbia portato alla formazione di chinoni, forme ossidate di composti fenolici che non possono contribuire al segnale voltammetrico nella zona di potenziale considerata. Il pool di composti fenolici nelle condizioni ambientali di questi vini non sarebbe in grado di mantenere gli ioni Fe complessati (Figura 4). Gli ioni Fe(II) potrebbero quindi reagire con il perossido di idrogeno per avviare la reazione di Fenton (Singleton 1987) e dare origine a radicali ad altissima energia, i radicali idrossilici HO° che ossidano l'etanolo a etanale, per esempio. Senza essere esaustivi, è stato anche ipotizzato che i radicali idrossilici diano luogo alla comparsa di pigmenti bruni/gialli/arancioni legati a reazioni di condensazione dei flavan-3-oli (tannini) in presenza di etanale o acido piruvico (Oszmianski 1996, Fulcrand 1996, Guyot 1996) o attaccano composti con funzioni alcoliche portando alla formazione delle cosiddette aldeidi di ossidazione (metionale, fenilacetaldeide) (Nikolantonaki e Waterhouse 2012).



**Figura 4: Meccanismo di ossidazione di un catecolo sull'anello B di un flavonoide e riduzione del Fe(III) a Fe(II). In alto: gli ioni Fe rimangono complessati, con Fe(II) meno disponibile per generare la reazione di Fenton. Meccanismo proposto nel caso dei vini resistenti all'ossidazione. In basso: gli ioni Fe non sono complessati e il Fe(II) può generare la reazione di Fenton. Meccanismo proposto per i vini sensibili all'ossidazione. R: nuclei A e C di un flavonoide.**

In conclusione, la determinazione della sensibilità all'ossidazione di un vino è di grande interesse per gli enologi avendo lo scopo di adattare al meglio il metodo di vinificazione e le condizioni di conservazione al profilo desiderato di ciascun prodotto. Il test di resistenza all'aria è un metodo empirico per valutare semplicemente questa resistenza. Quando questo test viene monitorato utilizzando la voltammetria lineare, la variazione del segnale tra il momento del contatto con l'aria e le 2 ore di contatto può essere utilizzata per identificare i vini resistenti all'ossidazione, che mostrano un aumento del segnale voltammetrico, e quelli sensibili all'ossidazione, che mostrano una diminuzione. Questi cambiamenti nei segnali potrebbero essere legati alla maggiore o minore capacità dei composti fenolici del vino di complessare gli ioni Fe, con la complessazione che porta a un segnale voltammetrico più alto per il complesso composto fenolico-Fe(III) e rende gli ioni Fe(II) meno disponibili per generare la reazione di Fenton. Oltre al collegamento tra i risultati delle misure voltammetriche e la classificazione empirica dei vini da parte degli enologi, sono stati sottoposti a questo test vini bianchi e rossi, poi imbottigliati in modo controllato e conservati per verificare il carattere predittivo del test. Questi studi, che confermano la possibilità di valutare la sensibilità dei vini all'ossidazione, saranno pubblicati in un prossimo articolo.





## BIBLIOGRAFIA

- Amorim Porfírio D., de Queiroz Ferreira R., Renata Malagutti A., Maíra Agostini Valle E., (2014) Electrochemical study of the increased antioxidant capacity of flavonoids through complexation with iron(II) ions, *Electrochimica Acta*, 141, 33–38.
- Büyüktünel E., E Porgalı, C Çolak, Comparison of Total Phenolic Content and Total Antioxidant Activity in Local Red Wines Determined by Spectrophotometric Methods *Food and Nutrition Sciences*, 5 (17), 1660-1667
- Danilewicz J.C. (2007) Interaction of Sulfur Dioxide, Polyphenols, and Oxygen in a Wine-Model System: Central Role of Iron and Copper. *Am. J. Enol. Vitic.* 58:1, 53-60.
- Danilewicz J.C. (2018) [Fe(III)]:[Fe(II)] Ratio and Redox Status of Red Wines: Relation to So-Called “Reduction Potential” *Am. J. Enol. Vitic.* 69:2, 141-147.
- Danilewicz J.C. (2016) [Fe(III)]:[Fe(II)] Ratio and Redox Status of White Wines *Am. J. Enol. Vitic.* 67:2, 146-152.
- De Beer D., J F. Harbertson, P A. Kilmartin, V Roginsky, T Barsukova, D O. Adams, A L. Waterhouse Phenolics: A Comparison of Diverse Analytical Methods *Am J Enol Vitic.* 2004, 55, 389-400
- du Toit W.J., Marais J., Pretorius I.S. and du Toit M. (2006) Oxygen in must and wine: A review. *S Afr J Enol Vitic* 27, 76-94.
- Kilmartin, P.A.; Zou, H.; Waterhouse, A.L. A Cyclic Voltammetry Method Suitable for Characterizing Antioxidant Properties of Wine and Wine Phenolics. *J. Agric. Food Chem.*, 2001, 49, 1957–1965.
- Kilmartin P.A., Zou H, Waterhouse A.L. (2002) Correlation of wine phenolic composition versus cyclic voltammetry response, *Am. J. Enol. Vitic.* 53, 294-302.
- Kreitman G.Y., Cantu A., Waterhouse A.L., Elias R.J. (2013) The effect of metal chelators on the oxidative stability of model wine *J. Agric. Food Chem.* 61(39), 9480-7.
- Lopes G.K., Schulman H.M., Hermes-Lima M. (1999) Polyphenol tannic acid inhibits hydroxyl radical formation from Fenton reaction by complexing ferrous ions. *Biochim Biophys Acta.* 1472(1-2),142-52.
- Nguyen T.H., Waterhouse A.L. (2019) A Production-Accessible Method: Spectrophotometric Iron Speciation in Wine Using Ferrozine and Ethylenediaminetetraacetic Acid. *J. Agric. Food Chem.* 67, 2, 680–687.
- Le Nest G., Caille O., Woudstra M., Roche S., Guerlesquin F., Lexa D. (2004) Zn–polyphenol chelation: complexes with quercetin, (+)-catechin, and derivatives: I optical and NMR studies. *Inorganica Chimica Acta* 357 (3), 775-784
- Perron N.R., Brumaghim J.L. (2009) A review of the antioxidant mechanisms of polyphenol compounds related to iron binding. *Cell Biochem Biophys.* 53(2),75-100.



Perron N.R., Wang, H.C., DeGuire S.N., Jenkins M., Lawson M., Brumaghim J.L. (2010) Kinetics of iron oxidation upon polyphenol binding. *Dalton Trans.* 39, 9982-9987.

Ribéreau-Gayon J. (1931) Contribution à l'étude des oxydations et réductions dans les vins. Thèse Doctorat ès Sciences Physiques, Bordeaux.

Romanet R., C Coelho, Y Liu, F Bahut, J Ballester, M Nikolantonaki, R D. Gougeon The Antioxidant Potential of White Wines Relies on the Chemistry of Sulfur-Containing Compounds: An Optimized DPPH Assay *Molecules* 2019, 24(7), 1353

Rodrigues A., Silva Ferreira A.C., Guedes de Pinho P., Bento F., Geraldo D. Resistance to Oxidation of White Wines Assessed by Voltammetric Means *J. Agric. Food Chem.* 2007, 55, 10557–10562

Ugliano M., Dieval J-B, Tacchini P., Vidal S. Oxidation fingerprints of white wines by linear sweep voltammetry using screen printed carbon electrochemical sensors. 2013, In *Vino Analytica Scientia*, poster

Ugliano M., Pascal C., Diéval J-B., Vidal S., Wirt J., Bégrand, S. Une nouvelle approche voltamétrique pour l'analyse des polyphénols des raisins blancs et le suivi des opérations pré-fermentaires. *Infowine* 2019

Waterhouse A.L. and Laurie V.F. (2006) Oxidation of wine phenolics: A critical evaluation and hypotheses. *Am J Enol Vitic* 57, 306-313