

Monitoraggio della maturazione dell'uva mediante voltammetria a scansione lineare – Parte 1: principio e utilizzo per determinare l'intervallo aromatico della vendemmia

Christine Pascal, E Brenon, Nelly Champeau, Emilie Charpentier, Jean Baptiste Diéval, Stéphane Vidal

Vinventions, team enologico, Francia

Sintesi

La maturazione ottimale delle uve dipende dallo stile di vino che il viticoltore desidera produrre. La qualificazione della vendemmia è quindi di vitale importanza per determinare la data di raccolta delle uve, in modo che il viticoltore sia nelle migliori condizioni possibili per produrre il profilo di vino desiderato.

Oltre al tradizionale monitoraggio della concentrazione zuccherina e dell'acidità, la determinazione del momento in cui una parcella arresta la formazione di zuccheri ci permette di definire l'intervallo di raccolta per la produzione di uno stile di vino con un determinato aroma ed equilibrio.

Questo articolo descrive come la voltammetria a scansione lineare possa essere utilizzata per determinare la data di arresto del carico di zuccheri in un appezzamento. Viene descritta l'evoluzione del segnale ottenuto sui mosti degli acini spremuti, gli stessi che sono utilizzati per la determinazione degli zuccheri, l'evoluzione del segnale è spiegata sulla base dei fenomeni osservati durante questa fase di maturazione. Viene descritta l'evoluzione del segnale ottenuto dai mosti di spremitura degli acini, utilizzati per determinare la concentrazione di zuccheri, e viene spiegata l'evoluzione del segnale sulla base dei fenomeni osservati durante questa fase di maturazione. I risultati dimostrano che questa tecnologia può essere utilizzata in modo semplice e accurato per determinare il momento in cui i livelli di zuccheri nelle parcelle cessano di aumentare e, di conseguenza, per individuare gli intervalli di date di raccolta per ottenere un determinato profilo. L'uso di questo indicatore per produrre vini Sauvignon blanc con uno stile definito è presentato nella Parte 2 di questo articolo.

xxxxxxxxxx

La maturazione ottimale delle uve dipende dallo stile di vino che il viticoltore desidera produrre. La qualificazione della vendemmia è quindi di vitale importanza per determinare la data di raccolta delle uve, in modo che il viticoltore sia nelle migliori condizioni possibili per produrre il profilo di vino desiderato.

Tradizionalmente, il controllo della maturazione prevede l'analisi della concentrazione zuccherina, del pH e dell'acidità totale di una parcella e il monitoraggio del peso medio degli acini. La data di vendemmia viene scelta in base a questi parametri e anche al rapporto zuccheri/acidi del raccolto (Ribereau-Gayon *et al.* 1998). Tuttavia, questi parametri analitici non possono essere utilizzati per determinare il profilo aromatico del vino raccolto in una determinata data. La degustazione degli acini risulta complementare per determinare il profilo aromatico; si tratta però, di un'analisi impegnativa se effettuata su un numero elevato di parcelle.

Deloire (2011) ha anche descritto il concetto di carico zuccherino della vite: la quantità di zuccheri per acino aumenta (fase di carico attivo) a partire dall'invasatura fino a raggiungere un plateau, che segna la fine del carico zuccherino. Da questo momento in poi, il profilo aromatico dell'uva si evolve attraverso diverse tipologie che evocano, ad esempio, per le varietà a bacca rossa, frutti rossi (fragola/ciliegia) e frutti neri (mora/prugna). Suklje *et al.* (2019) hanno dimostrato sui vini Syrah che queste evoluzioni aromatiche sono dovute a composizioni aromatiche diverse, in particolare negli esteri fermentativi. Questa constatazione è stata effettuata anche su vini di Cabernet Sauvignon e di Syrah da Antalick *et al.* (2021), che hanno in più dimostrato che gli intervalli che permettono la produzione di stili di vino definiti appaiono in modo temporalmente riproducibile dopo la cessazione del carico di zuccheri per una determinata varietà di uva, indipendentemente dalla posizione del vigneto, dal mesoclima sostenuto dalle uve o dall'annata.

Inoltre, Hastoy *et al.* (2019) hanno monitorato la maturazione dell'uva durante la fase di carico di zuccheri utilizzando la voltammetria a scansione lineare eseguita sui mosti di spremitura degli acini durante i controlli di maturazione. Questi lavori hanno mostrato che il segnale voltammetrico diminuisce durante la fase di carico di zuccheri fino a raggiungere un minimo segnale, che sembra coincidere con la cessazione del carico di zuccheri.

Lo scopo di questo studio è comprendere l'origine del abbassamento del segnale voltammetrico fino a ottenere un segnale minimo, che indica la cessazione del carico attivo di zuccheri in una parcella di vigneto. Inizialmente, è stata ricercata un'origine molecolare valutando il segnale voltammetrico di molecole come il saccarosio o l'acido malico. In secondo luogo, i fenomeni che si verificano durante la fase di carico di zuccheri (diluizione, aumento della quantità di zuccheri per acino) e poi dopo questa fase (concentrazione) sono stati ricreati su una soluzione di composti fenolici del tè verde, permettendo di formulare l'ipotesi che il abbassamento del segnale osservato sia legato contestualmente all'impatto dell'aumento della concentrazione di zuccheri sulle curve intensità-potenziale dei composti fenolici nella polpa, e alla diluizione di questi ultimi in seguito all'aumento del volume degli acini.

Materiali e metodi

Le analisi mediante voltammetria a scansione lineare (potenziostato Polyscan, WQS, Vinventions) sono state eseguite in triplicato su elettrodi stampati (WQS Vinventions, elettrodo di lavoro in carbonio, riferimento

Ag/AgCl) applicando una salita di potenziale da 0 a 1200 mV a una velocità di scansione di 10mV/s . Ogni voltammogramma è stato caratterizzato dal calcolo dell'indice Maturox, una combinazione lineare delle aree sotto la curva tra 400 e 1000 mV.

La maturazione dell'appezzamento è stata monitorata prelevando settimanalmente campioni di 200 bacche da entrambi i lati della fila da metà invaiatura fino alla raccolta. I campioni di 200 bacche sono stati pressati a mano in un sacchetto di plastica. Il succo così ottenuto, contenente essenzialmente i costituenti della polpa delle bacche, è stato analizzato mediante voltammetria a scansione lineare come descritto in precedenza.

Soluzioni di acido malico a 20g/L, saccarosio a 200g/L, glucosio + fruttosio (equimolare) a 200 g/L e fosfato di ammonio (200 mg/L) in una soluzione di KCl 0,05M a pH regolato a 3,20 con HCl 1N sono state analizzate mediante voltammetria nelle condizioni sopra descritte.

Infine, per riprodurre l'effetto della maturazione (aumento del volume delle bacche, aumento della concentrazione di zuccheri, come descritto di seguito), una bustina di tè verde (Betjeman and Barton®) è stata messa in infusione per 5 minuti in 250 mL di acqua precedentemente riscaldata a 100°C per ottenere una soluzione di composti fenolici, principalmente un monomero di flavan-3-olo, l'epigallocatechina gallato. Dopo il raffreddamento a temperatura ambiente, sono state preparate diverse soluzioni del tè verde: diluizioni al 20 e al 50% con acqua distillata, soluzioni con l'aggiunta di una miscela equimolare di glucosio/fruttosio a 100, 170 e 210 g/L al tè non diluito e a 100 e 210 g/L alla soluzione diluita al 20% con acqua e a 170 g/L alla soluzione diluita al 50%.

Risultati e discussione :

Dal 2015 viene effettuato un monitoraggio settimanale della maturazione mediante voltammetria a scansione lineare su parcelle di varietà di uve rosse e bianche, dalla fine dell'invaiatura alla vendemmia. Questo monitoraggio mostra una diminuzione generale delle curve intensità-potenziale fino a una certa data, vicina alla fine del carico di zuccheri secondo Hastoy *et al.* (2019), dopodiché il segnale si stabilizza o aumenta di nuovo. La Figura 1 mostra un esempio di monitoraggio di una parcella di Mourvèdre: sono mostrate le curve intensità-potenziale per i campioni prelevati due settimane prima dell'interruzione del carico di zuccheri (determinato con il metodo descritto da Deloire 2011), al momento dell'interruzione e una settimana dopo l'interruzione. Le forme delle curve intensità-potenziale rimangono simili nel tempo (Figura 1). L'indice Maturox, calcolato come combinazione lineare delle aree sotto la curva, è un indicatore numerico dell'intensità complessiva del segnale. In concreto, diminuisce fino a un minimo e poi ristagna o aumenta di nuovo, consentendo di individuare il momento in cui il carico zuccherino di una parcella si arresta e quindi di prevedere le date di vendemmia più adatte a produrre un determinato stile di vino.

Durante la fase di carico attivo di zuccheri, negli acini d'uva si verificano diversi fenomeni:

- L'aumento del volume dell'acino porta alla diluizione dei composti la cui quantità per acino è stabile durante questa fase: acido tartarico, composti fenolici come gli acidi idrossicinnamici o i tannini, ad esempio (Teixera *et al.* 2013).
- Aumento della quantità di zuccheri per bacca (glucosio + fruttosio da saccarosio) e della concentrazione di zuccheri



- Aumento del pH
- Diminuzione dell'acidità totale, in particolare a causa della degradazione dell'acido malico
- Riduzione della quantità di ioni ammonio per bacca
- Aumento della quantità di antociani per bacca (Teixera *et al.* 2013).

Oltre alla cessazione del carico di zuccheri, l'aumento della concentrazione di zuccheri è legato a fenomeni di traspirazione e appassimento dell'acino con conseguente perdita di volume dell'acino (Deloire *et al.* 2021).

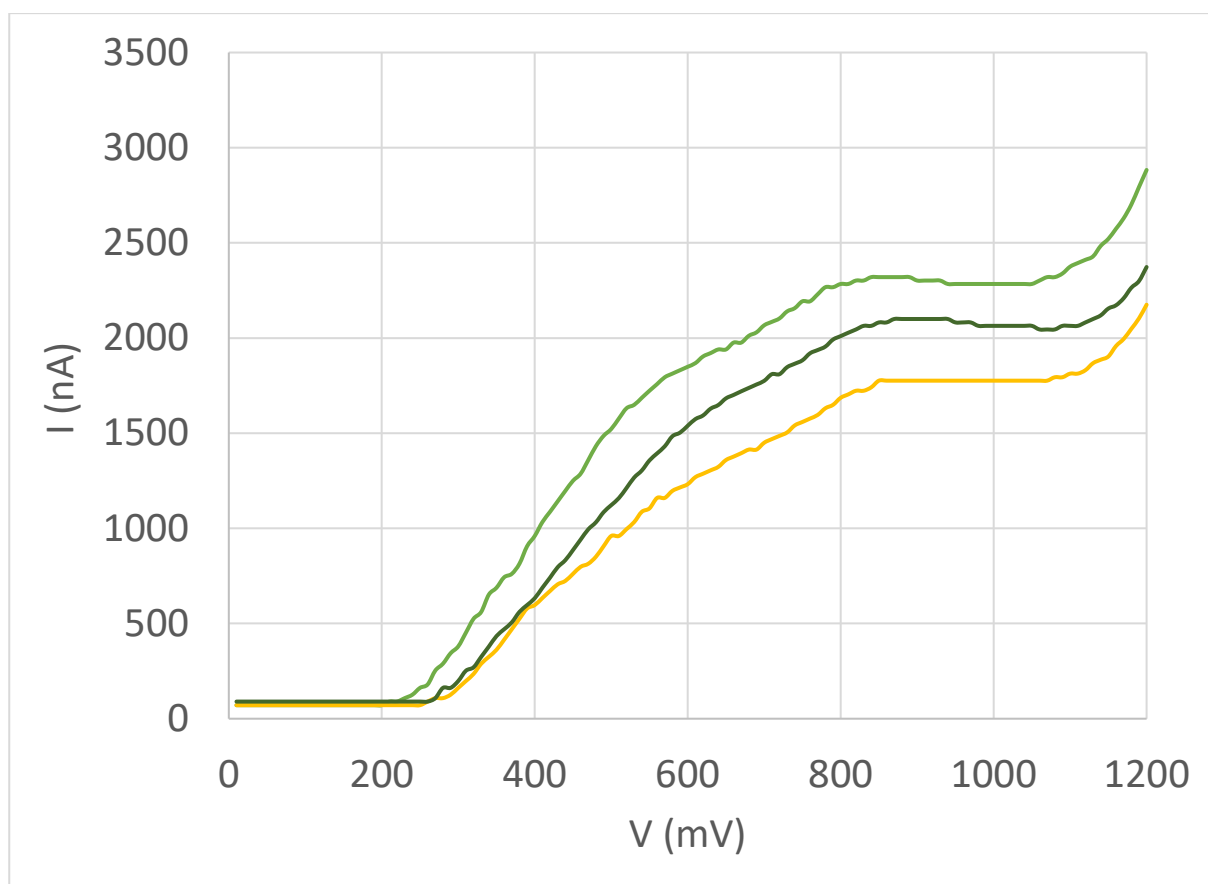
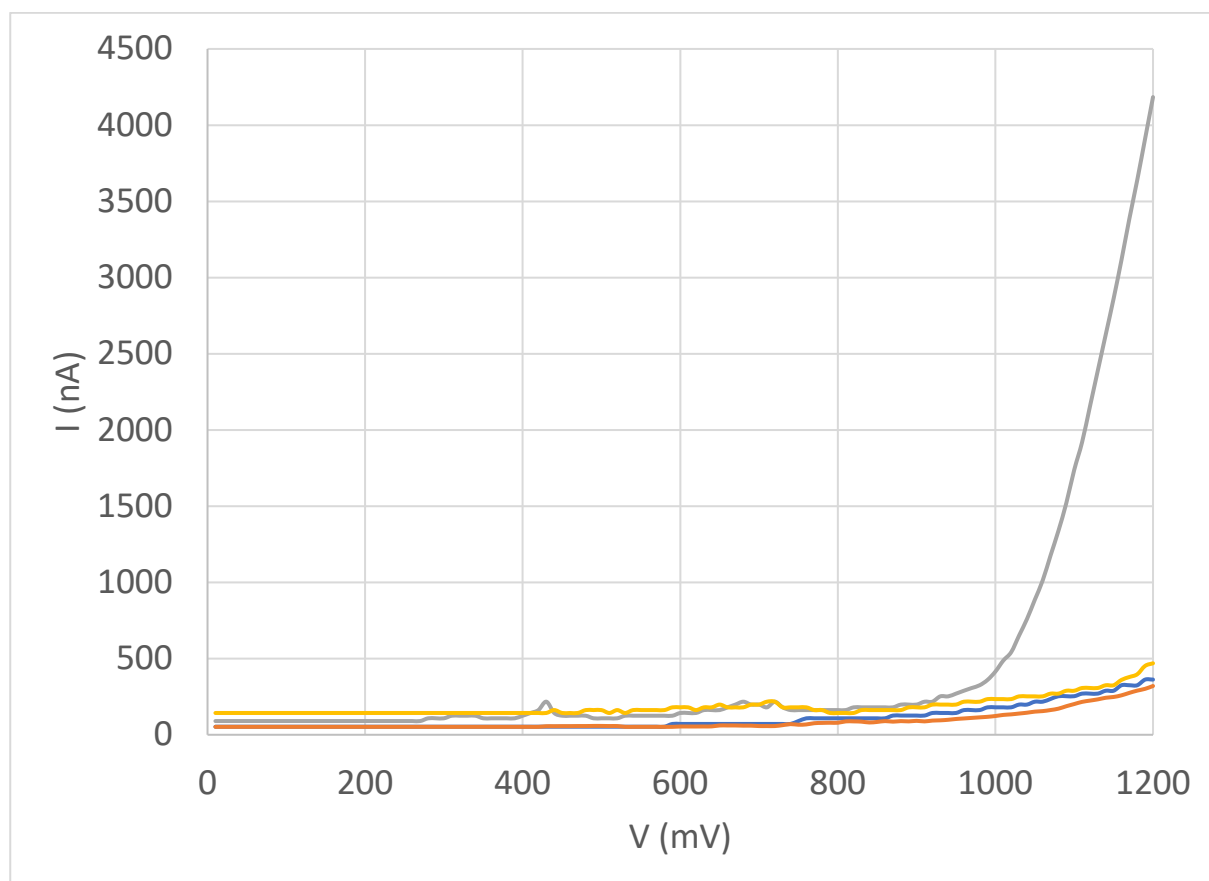


Figura 1: Curve intensità-potenziale registrate sul succo spremuto di 200 bacche prelevate settimanalmente durante la maturazione di una parcella di Mourvèdre. Verde chiaro: curva del 12 agosto, 2 settimane prima che l'appezzamento smettesse di essere caricato di zuccheri. Blu: curva del 26 agosto, data dell'arresto del carico di zuccheri. Verde scuro: curva del 2 settembre, una settimana dopo l'arresto del carico in zuccheri della particella. La cessazione del carico di zuccheri è stata determinata con il metodo descritto da Deloire (2011).

In un primo tempo, è stato registrato il segnale della voltammetria a scansione lineare di varie molecole alla loro massima concentrazione durante la maturazione: saccarosio (200 g/L), glucosio + fruttosio in miscela equimolare (200 g/L - non mostrato qui), difosfato di ammonio (200 mg/L), acido L-malico (20 g/L). Nessuna di queste molecole ha mostrato un segnale significativo (Figura 2), soprattutto tra 400 e 1000 mV, l'intervallo

di potenziale considerato per il calcolo dell'indice MaturOx per il monitoraggio della maturazione, come descritto in precedenza. Le variazioni della loro concentrazione durante la maturazione non possono quindi spiegare isolatamente i cambiamenti osservati nelle curve intensità-potenziale descritte in precedenza. Lo stesso vale per il pH (non mostrato qui), il cui aumento provoca lievi spostamenti dei voltammogrammi sulla scala del potenziale che non sono dello stesso ordine delle diminuzioni del segnale descritte sopra.

Figura 2: curve intensità-potenziale per soluzioni di saccarosio a 200g/L (blu scuro), acido L-malico a 20g/L (arancione) e fosfato di ammonio (200 mg/L - verde) in una soluzione di KCl 0,05M a pH 3,20 (blu chiaro).



È stato inoltre descritto che il segnale ottenuto su elettrodi di carbonio come quelli utilizzati in questi test è dovuto all'ossidazione dei composti fenolici su di essi (Ugliano *et al.* 2019, Kilmartin *et al.* 2001 e 2002). I succhi di bacche analizzati qui contengono principalmente composti derivati dalla polpa, ovvero acidi idrossicinnamici e flavanoli monomerici.

Tuttavia, poiché gli acidi idrossicinnamici e i monomeri flavan-3-oli (Teixeira *et al.* 2013) vengono sintetizzati prima dell'invasatura, la loro quantità per bacca rimane stabile durante il carico di zuccheri, ma la loro concentrazione diminuisce con l'aumento del volume della bacca.

Per riprodurre l'impatto della diluizione e l'aumento della concentrazione di zuccheri nei succhi degli acini in maturazione, è stata scelta come soluzione modello una soluzione di tè verde, in quanto ricca di composti fenolici monomerici (epigallocatechina gallato, EGCG), priva di glucosio/fruttosio o saccarosio, a differenza del succo d'uva, e non contenente alcol, a differenza del vino. L'ipotesi è che i composti fenolici del tè verde si comportino in modo simile a quelli della polpa d'uva in termini di voltammetria lineare.

Il tè verde simula il succo spremuto ottenuto alla fine dell'invaiaatura, quando il contenuto di zuccheri per bacca è ancora basso. Per rappresentare un acino in fase di caricamento (aumento di volume del 20%, ad esempio da 1 mL a 1,2 mL), il tè verde è stato diluito al 20% e sono stati aggiunti 100 g/L di zuccheri (glucosio equimolare + fruttosio). Per simulare il succo spremuto alla fine del carico di zuccheri, considerando un aumento medio del volume delle bacche del 50% dalla fine dell'invaiaatura (da 1 a 1,5 mL, per esempio), il tè verde è stato diluito al 50% e aggiunto 170 g/L di zuccheri (Shahood *et al.* 2020, Antalick *et al.* 2021, Deloire *et al.* 2021). Infine, per simulare l'effetto dell'appassimento di circa il 20% dopo l'interruzione del carico di zuccheri (la bacca è diminuita da 1,5 mL a 1,2 mL, per esempio), il tè verde iniziale è stato diluito al 20% (equivalente a un fenomeno di concentrazione del 20% sulla soluzione diluita al 50%) e rabboccato con 210 g/L di zuccheri (concentrazione media del raccolto alla data del raccolto).

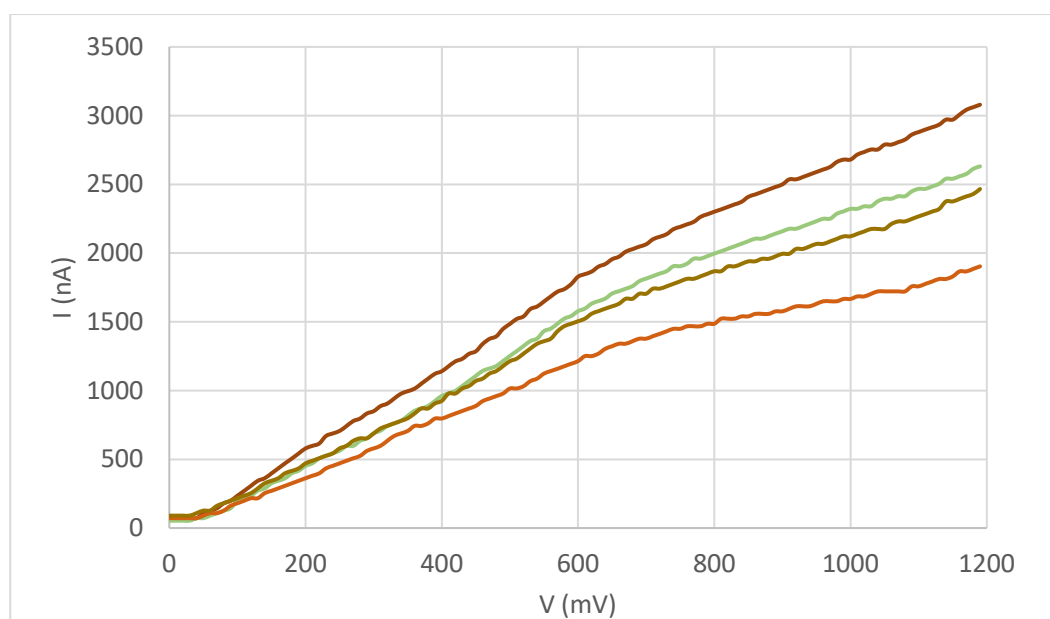


Figura 3: Curve intensità/potenziale per soluzioni di tè verde non diluito (marrone) che rappresentano il succo di spremitura delle bacche a fine invaiatura, tè verde diluito al 20% e con 100 g/L di glucosio + fruttosio equimolare (verde) che rappresentano il succo di spremitura degli acini durante il carico di zuccheri, tè verde diluito al 50% con 170 g/L di glucosio + fruttosio equimolare (arancione) che rappresenta il succo di spremitura degli acini alla fine del carico di zuccheri, tè verde diluito al 20% con 210 g/L di glucosio+ fruttosio equimolare (blu) che rappresenta il succo di spremitura degli acini alla data della raccolta.

Le curve intensità-potenziale delle soluzioni (Figura 3) mostrano che maggiore è la diluizione, maggiore è il abbassamento del segnale, analogamente a quanto osservato durante la maturazione. La curva minima è stata ottenuta per la soluzione che simula il succo di acini schiacciati quando si è interrotto il carico di zuccheri

(diluizione al 50% di tè verde + 170 g/L di glucosio-fruttosio equimolare). Tuttavia, la soluzione di tè verde diluita al 20% e contenente 210 g/L di zuccheri aveva un segnale più debole rispetto a quella diluita al 20% e contenente 100 g/L di zuccheri, suggerendo un impatto cumulativo dei due fattori sul abbassamento del segnale. L'analisi e il calcolo del MaturOx (indice che valuta l'area sotto la curva delle registrazioni di intensità/potenziale) delle soluzioni di tè diluite rispettivamente al 20 e al 50% senza l'aggiunta di zuccheri e di tè verde non diluito con 100, 170 e 200 g/L confermano che le soluzioni di tè diluite al 20% e contenenti 100 g/L di zuccheri sono più deboli di quelle con 100 g/L di zuccheri, 170 e 200 g/L confermano che gli effetti della diluizione e dell'aggiunta di zuccheri si addizionano (tabella 1). Risultati simili sono stati ottenuti (non mostrati qui) anche utilizzando il saccarosio (zuccheri caricato nell'acino d'uva prima dell'idrolisi enzimatica in glucosio/fruttosio) invece della miscela glucosio/fruttosio. L'impatto dei saccaridi sul potere antiossidante dei composti fenolici monomerici misurato con i saggi ABTS⁽⁺⁾, DPPH⁻ o FRAP è già stato riportato (Kopjar *et al.* 2016, Peinado *et al.* 2010, Katz *et al.* 2020), così come le interazioni tra i composti fenolici e i polisaccaridi attraverso legami non covalenti (Zhang *et al.* 2013). Queste interazioni potrebbero essere all'origine della formazione di complessi supramolecolari tra composti fenolici e saccaridi che presentano una risposta più debole in voltammetria a scansione lineare rispetto al segnale dei soli composti fenolici

Soluzione	Commento	MaturOx (unità arbitraria)	Perdita di segnale in relazione al tè (delta MaturOx - unità arbitraria)	Totale teorico previsto (effetto cumulativo della diluizione e dell'aggiunta di zuccheri)
Tè non diluito	Inizio del carico dello zuccheri	828	-	
Tè diluito 20%+ 100g/L glucosio+fruttosio	In corso di carico dello zuccheri	680	-148	-174
Tè diluito 50%+ 170g/L glucosio+fruttosio	Fine del carico di zuccheri	492	-336	-306
Tè diluito 20%+ 210g/L glucosio+fruttosio	Plateau di carico con appassimento (equivalente a vendemmia)	604	-224	-259
Tè diluito al 50%	Effetto della sola diluizione	620	-208	
Tè diluito al 20%	Effetto della sola diluizione	700	-128	
Tè - 100g/L glucosio+fruttosio	Effetto del solo glucosio + fruttosio	781	-47	
Tè - 170 g/L di glucosio+fruttosio	Effetto del solo glucosio + fruttosio	730	-98	
Tè - 210g/L di glucosio+fruttosio	Effetto del solo glucosio + fruttosio	697	-131	

L'evoluzione dell'indice Maturox ottenuto sulle soluzioni di tè è simile a quella che si ottiene classicamente durante la maturazione degli acini. Ad esempio, è stata messa in prospettiva del monitoraggio di una parcella di Mourvèdre in termini di Maturox e di quantità di zuccheri per acino, che ha mostrato un minimo al 3° punto di monitoraggio, in concomitanza con la stabilizzazione della quantità di zuccheri per acino (Figura 4).

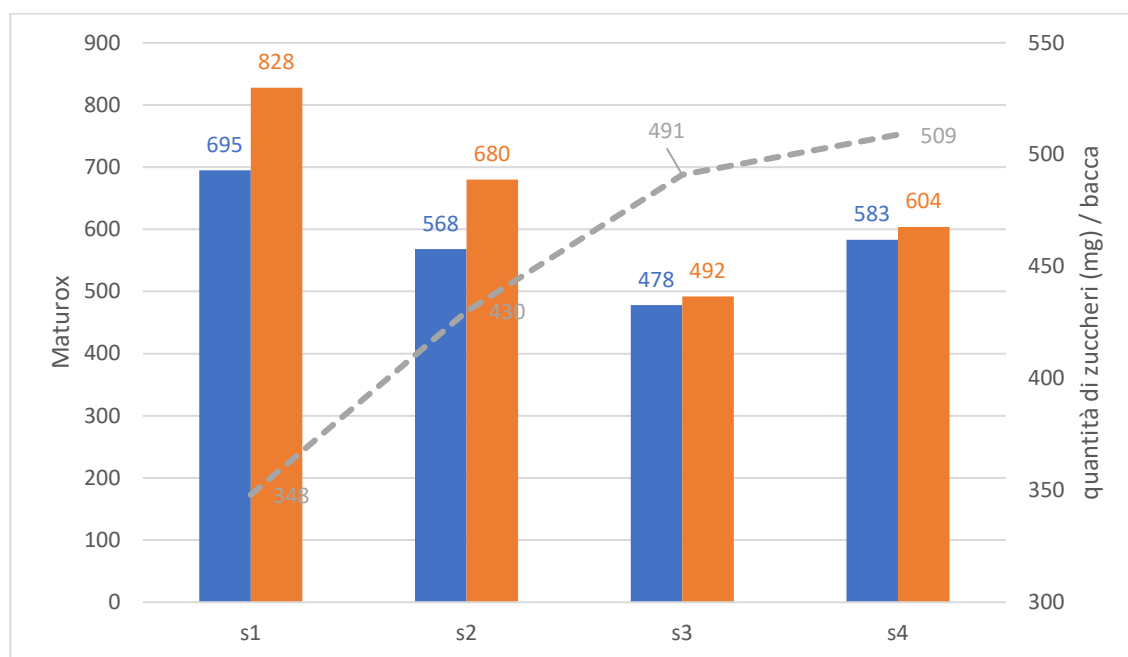


Figura 4: Andamento dell'indice Maturox di campioni settimanali prelevati da una parcella di Mourvèdre durante la maturazione (blu) e della quantità di zuccheri per acino (verde) di questi campioni. Maturox (arancione) di soluzioni di tè verde che imitano i fenomeni osservati durante la maturazione (Figura 3 e Tabella 1).

Considerando i risultati di queste prove, sembra logica la diminuzione delle curve intensità-potenziale durante la fase di carico di zuccheri fino a raggiungere un minimo quando il carico si interrompe. Il fenomeno si basa sulle variazioni delle curve intensità-potenziale dei composti fenolici presenti nella polpa dell'acino durante la maturazione.

Durante la fase di carico attivo, la concentrazione di zuccheri nelle bacche aumenta. Le interazioni tra zuccheri e composti fenolici portano a un abbassamento delle curve intensità-potenziale per i composti fenolici: maggiore è la concentrazione di zuccheri, minore è il segnale per una data concentrazione di composti fenolici. Inoltre, l'aumento di volume dell'acino porta a una diluizione dei composti fenolici nella polpa (biosintetizzati prima dell'invasatura), e quindi a una diminuzione del loro segnale voltammetrico. Durante questa fase, i due fenomeni sono generalmente concomitanti e portano a un abbassamento delle curve intensità-potenziale. Anche il carico attivo di zuccheri che continua senza che il volume dell'acino aumenti porta a un abbassamento del segnale. D'altra parte, è altamente improbabile che la concentrazione di composti fenolici continui a diminuire in seguito a un aumento del volume dell'acino senza carico attivo di

zuccheri (McCarthy e Coombes 2008): sembra quindi inconcepibile che il segnale diminuisca senza carico attivo di zuccheri.

Dal momento in cui il carico di zuccheri si interrompe, la curva corrente-potenziale può :

- evolvere poco (Maturox stabile) se il volume dell'acino non diminuisce (assenza di appassimento) e la concentrazione di zuccheri cambia poco (assenza di carico attivo, assenza di concentrazione dovuta all'appassimento).

- aumentare (Maturox crescente) se il volume degli acini diminuisce (back flow / wilting - Deloire 2021), provocando un aumento della concentrazione in composti fenolici e in zuccheri aume

In questo caso, il abbassamento del segnale legato all'aumento della concentrazione di zuccheri è controbilanciato dall'effetto dell'aumento della concentrazione in composti fenolici. Dai risultati delle misurazioni sul tè (Tabella 3), risulta che durante l'appassimento (20% nell'esempio, da 170 a 210 g/L di zuccheri), l'aumento della concentrazione composti fenolici ha un impatto maggiore (aumento di 80 unità Maturox) rispetto all'impatto della concentrazione di zuccheri (diminuzione di 30 unità Maturox). Sebbene gli effetti dei due fenomeni siano opposti, il segnale risultante è a priori più elevato.

Di conseguenza, il segnale minimo si ottiene necessariamente quando cessa il carico attivo di zuccheri, e il segnale può poi rimanere stabile o aumentare. La voltammetria a scansione lineare può quindi essere utilizzata per determinare in dettaglio il momento in cui cessa il carico di zuccheri sulle parcelle di vigne e, di conseguenza, per identificare gli intervalli di date per ottenere un determinato profilo

Conclusioni:

Per gestire la vinificazione di profili di vino definiti, le uve devono essere raccolte a una data determinata con precisione in relazione all'arresto del carico in zuccheri, come suggerito da Deloire *et al.* (2011). Il monitoraggio della maturazione mediante voltammetria a scansione lineare è stato proposto come mezzo per determinare questa data (Hastoy *et al.* 2019) quando si ottiene un segnale minimo. Questo studio ha evidenziato i fenomeni alla base del abbassamento delle curve intensità-potenziale durante la maturazione dell'uva. Questo abbassamento sembra essere legato alla diminuzione della concentrazione di composti fenolici nella polpa dovuta all'aumento del volume degli acini, unita all'impatto dell'aumento della concentrazione di zuccheri sul segnale di questi stessi composti. L'uso di questo indicatore per produrre vini Sauvignon blanc definiti in base allo stile è presentato nella Parte 2 di questo articolo (Pascal *et al.* 2025). Questo metodo a basso consumo di succo potrebbe essere utilizzato per studi fisiologici acino per acino, come raccomandato da Shahood *et al* (2020).

Riferimenti:

Antalick G., Šuklje K., Blackman J.W., Schmidtke L.M., Deloire A. Esecuzione di vendemmie sequenziali in base all'accumulo di zuccheri nelle bacche (mg/berry) per ottenere profili sensoriali specifici del vino OENO One, 2021, 55 (2).

Brenon E., Morin S., Pascal C. Monitoraggio della maturazione dell'uva mediante voltammetria a scansione lineare – Parte 2: Ottenere profili organolettici predefiniti per il Sauvignon blanc. Infowine, 2025.

Deloire A., Il concetto di carico zuccherino delle bacche. Gennaio 2011, Wyneland

Deloire, A. Il concetto di carico zuccherino delle bacche, Wineland Magazine, 2011.

Deloire A., Rogiers S., Šuklje K., Antalick G., Zeyu X., Pellegrino A. Appassimento degli acini di vite, perdita di acqua e morte cellulare: una sfida crescente per i coltivatori nel contesto del cambiamento climatico. IVES 2021.

Hastoy X., Marquier S., Blanc G., Lagarde Pascal C., Use of linear scanning voltammetry to determine the harvest date of Sauvignon blanc plots. *Revue des œnologues*, 2019, 44-46.

Katz I.H., Nagar E.E., Okun Z., Shpigelman A. Il legame tra struttura dei polifenoli, capacità antiossidante e stabilità della durata di conservazione in presenza di fruttosio e acido ascorbico. *Molecules*, 2020, 25(1): 225.

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. Correlation of wine phenolic composition versus cyclic voltammetry response, *Am. J. Enol. Vitic*, 2002, 53, 294-302.

Kopjar M., Lončarić A., Mikulinjak M., Šrajbek Z., Šrajbek M., Pichler A. Valutazione delle interazioni antiossidanti di sistemi modello combinati di fenoli in presenza di zuccheri. *Natural Products Communication*, 2016.

McCarthy M.G., Coombe B.G. La perdita di peso negli acini d'uva in maturazione della cv. Shiraz è causata da un ostacolo al trasporto floematico? *Australian Journal of Grape and Wine Research*, 1999, 5, 17-21

Peinado J., Lopez de Lerma N., Peinado R. A. Interazione antiossidante sinergica tra zuccheri e fenoli di un vino dolce. *Eur Food Res Technol*, 2010, 231, 363-370.

Ribereau Gayon P., Dubourdieu D., Doneche B., Lonvaud A. *Traité D'œnologie - 1. Microbiologia del vino. Vinificazioni. Capitolo 10- le raisin et sa maturation.* Dunod, 1998.

Shahood R., Torregrosa L., Savoi S., Romieu C. Prima valutazione quantitativa della crescita, dell'accumulo di zuccheri e della degradazione del malato in un singolo acino in fase di maturazione. *Oeno* 1, 2020.

Šuklje, K., Carlin, S., Stanstrup, J., Antalick, G., Blackman, J.W., Meeks, C., Deloire, A., Schmidtke, L.M & Vrhovsek, U. Unravelling wine volatile evolution during Shiraz grape matening by untargeted HS-SPME-GC x GC-TOFMS. *Food Chemistry*, 2019, 277, 753-765.

Teixeira A., Eiras-Dias J., Castellarin S.D., Gerós H. Berry Phenolics of Grapevine under Challenging Environments *Int J Mol Sci* 2013 ,14(9),18711-18739.

Ugliano M, Pascal C, Diéval J-B., Vidal S., Wirt J., Bégrand, S. Un nuovo approccio voltametrico per l'analisi dei polifenoli nelle uve bianche e il monitoraggio delle operazioni di pre-fermentazione; *Infowine*, 2019.

Zhang H., Yu D., Sun J., Liu X., Jiang L., Guo H., Ren F. Interazione dei fenoli vegetali con i macronutrienti alimentari: caratterizzazione e conseguenze nutrizionali-fisiologiche. *Nutrition Research Review*, 2013, 21, 1-15.