

Il rame nella vinificazione: dalla gestione del vigneto al controllo analitico in cantina

Dott.ssa Francesca Bruni, ricercatrice presso il CDR Laboratorio Chimico "Francesco Bonicolini"

P2611

Introduzione. Il rame come punto critico di controllo nel processo di vinificazione

Nell'enologia moderna, la presenza di rame (Cu) deve essere considerata non solo come un residuo storico dei trattamenti in vigna, ma anche come un punto di controllo critico all'interno del protocollo di garanzia della qualità della cantina.

I prodotti a base di rame rimangono una delle soluzioni più efficaci per il controllo della peronospora (*Plasmopara viticola*). Allo stesso tempo, la loro persistenza può influenzare la stabilità chimica e microbiologica del vino. Il rame è un **micronutriente essenziale** per il metabolismo della vite. Tuttavia, quando residui eccessivi raggiungono il mosto e il vino, questo metallo diventa un parametro tecnologicamente critico in grado di influenzare la cinetica di fermentazione, la stabilità ossidativa e il profilo sensoriale finale. Tradizionalmente, i trattamenti in vigneto seguivano la cosiddetta "**regola delle tre decine**". Dieci millimetri di pioggia, dieci centimetri di crescita dei germogli e temperature intorno ai 10 °C erano considerati condizioni favorevoli all'infezione. Le attuali conoscenze agronomiche hanno rivisto questa regola. La ricerca dimostra che l'infezione può iniziare quando le foglie hanno un diametro di soli 2-3 cm, perché gli stomi sono già pienamente funzionali. Di conseguenza, i trattamenti spesso iniziano prima e possono essere ripetuti più frequentemente durante la stagione. Ciò aumenta la probabilità che residui di rame rimangano sull'uva e raggiungano il mosto.

I limiti normativi stabiliscono concentrazioni **massime di rame pari a 50 mg/kg** sull'uva e **1 mg/L** nel vino finito. Da un punto di vista tecnologico, tuttavia, molte aziende vinicole considerano **0,5 mg/L** come la **concentrazione ottimale** come soglia ottimale per garantire stabilità ed evitare difetti di qualità.

Mantenere il rame al di sotto di questo valore riduce significativamente il rischio di reazioni ossidative e di instabilità colloidale.

Tossicità del rame e metabolismo del lievito

Una volta che il rame entra in cantina, la sua rimozione diventa difficile. I processi di chiarificazione standard applicati ai mosti generalmente non riducono significativamente la concentrazione di rame. La maggior parte del metallo rimane biodisponibile e può interagire direttamente con il metabolismo del lievito. La risposta del lievito al rame dipende dal ceppo utilizzato durante la fermentazione.

I livelli di resistenza tipici sono approssimativamente:

- Lieviti indigeni o non selezionati: tolleranza fino a 8 mg/L
- Ceppi tradizionali di *Saccharomyces cerevisiae*: tolleranza fino a 12 mg/L
- Ceppi di *S. cerevisiae* / *bayanus* : tolleranza fino a 19 mg/L
- Ceppi non produttori di H₂S: maggiore sensibilità, circa 6 mg/L

A causa di queste differenze, la concentrazione di rame deve essere valutata insieme allo specifico ceppo di lievito impiegato nella gestione della fermentazione.

Meccanismi dello stress ossidativo

La tossicità del rame è principalmente associata alla forma ionica Cu²⁺, che può partecipare a reazioni redox che generano specie reattive dell'ossigeno (ROS). Queste molecole reattive danneggiano le strutture cellulari e interferiscono con i principali sistemi enzimatici coinvolti nella fermentazione.

Il principale le conseguenze includono:

1. **Stress ossidativo e cinetica di fermentazione più lenta**
I ROS danneggiano le membrane cellulari e inibiscono gli enzimi coinvolti nella glicolisi, rallentando l'attività del lievito.
2. **Aumento della produzione di acetaldeide**
Le cellule di lievito sottoposte a stress ossidativo tendono ad accumulare acetaldeide come metabolita intermedio.
3. **Impatto sulla gestione dell'anidride solforosa**

L'acetaldeide è il composto principale che lega l'anidride solforosa (SO₂). Concentrazioni più elevate di acetaldeide richiedono quindi aggiunte più elevate di SO₂ per mantenere una frazione adeguata di SO₂ libera, aumentando il rischio di superare i limiti legali per la SO₂ totale.

Rischi organolettici: ossidazione e instabilità colloidale

Il rame è anche un potente catalizzatore redox nel vino. La sua presenza accelera il consumo di ossigeno, aumentando le reazioni ossidative di circa il 125-190%. Queste reazioni possono influenzare significativamente sia la stabilità degli aromi che l'evoluzione del colore. I vini bianchi sono particolarmente sensibili perché privi del tampone redox polifenolico tipicamente presente nei vini rossi.

Il paradosso del rame

Nei vini imbottigliati con basso potenziale redox, gli ioni Cu^+ possono reagire con proteine e gruppi sulfidrilici, formando complessi colloidali instabili che possono alla fine precipitare sotto forma di depositi bruno-rossastri, un fenomeno noto come **casce di rame**.

I vini più esposti a questa instabilità sono quelli che hanno accumulato rame durante i trattamenti in vigna o le operazioni in cantina. **I vini bianchi leggeri sono particolarmente vulnerabili**, perché spesso vengono imbottigliati in anticipo e hanno poco tempo per stabilizzarsi durante la conservazione in grandi quantità.

La casce di rame si sviluppa tipicamente dopo l'imbottigliamento, quando l'ambiente del vino diventa più riducente a causa della scarsa presenza di ossigeno e della presenza di composti come **l'anidride solforosa** e **l'acido ascorbico**. Queste condizioni favoriscono la formazione di complessi di rame insolubili che possono precipitare durante la conservazione in bottiglia.

Fattori esterni possono aumentare il rischio.

L'esposizione alla luce, in particolare ai raggi UV, può favorire il fenomeno, motivo per cui i vini bianchi imbottigliati in vetro trasparente sono più suscettibili (Zoecklein et al., 1995). Le **elevate temperature di conservazione** possono anche accelerare la comparsa di depositi di rame in presenza di altre condizioni di instabilità.

Le proteine possono partecipare alla formazione di complessi di rame, rendendo i vini con un contenuto proteico più elevato più suscettibili. In questi casi, un'attenta **chiarificazione con bentonite** può aiutare a ridurre i livelli proteici e limitare il rischio di torbidità o depositi.

Per questo motivo, il **monitoraggio preventivo della concentrazione di rame** è più efficace di trattamenti correttivi come il ferrocianuro di potassio o i copolimeri PVI-PVP, che possono influire sul profilo sensoriale del vino. Mantenere i livelli di rame al di sotto di **0,5 mg/L** rimane la strategia più affidabile per preservare la stabilità colloidale e la qualità visiva del vino per tutta la sua durata di conservazione.

Monitoraggio del rame con CDR WineLab®

Un rapido controllo analitico è essenziale per la gestione dei **livelli di rame** durante le operazioni di vinificazione, poiché misurazioni tempestive consentono ai produttori di valutare l'impatto dei trattamenti in vigna, monitorare i processi di chiarificazione e verificare la concentrazione di rame prima di fasi critiche come la fermentazione, la stabilizzazione o l'imbottigliamento. Il **sistema CDR WineLab®** consente alle aziende vinicole di

eseguire l'analisi del rame direttamente in cantina, fornendo risultati rapidi che supportano le decisioni di controllo qualità in tempo reale senza dover ricorrere a laboratori esterni e ai relativi ritardi. Il metodo analitico copre gli intervalli di concentrazione tipicamente riscontrati sia nel mosto che nel vino finito, consentendo un monitoraggio efficace durante tutto il processo produttivo. Sono disponibili due intervalli di misura: un **intervallo basso da 0,05 a 0,70 ppm**, con una risoluzione di **0,01 ppm**, e un **intervallo alto da 0,60 a 1,20 ppm**, sempre con una risoluzione di **0,01 ppm**. Questo doppio intervallo consente di rilevare con precisione concentrazioni di rame prossime alla soglia tecnologica associata alla stabilità del vino. Per garantire misurazioni fotometriche affidabili, si raccomandano semplici fasi di preparazione del campione. I campioni di mosto devono essere centrifugati prima dell'analisi per rimuovere i solidi sospesi che potrebbero interferire con la misurazione, mentre i vini spumanti o i campioni in fermentazione devono essere degassati, in genere utilizzando un bagno a ultrasuoni, per eliminare l'anidride carbonica disciolta che potrebbe influenzare le letture ottiche. Queste semplici procedure di preparazione contribuiscono a garantire **prestazioni analitiche costanti e risultati affidabili durante il monitoraggio di routine in cantina**.

Analisi comparativa: metodo CDR vs metodo ufficiale OIV

Nella vinificazione moderna è importante distinguere tra monitoraggio del processo e analisi di certificazione ufficiale.

Criterio	Metodo CDR WineLab®	Metodo ufficiale (OIV / Assorbimento atomico)
Scopo strategico	Controllo di processo e garanzia della qualità	Certificazione legale e conformità all'esportazione
Tempo di risposta	Circa 6 minuti	Da diverse ore a giorni
Operativo complessità	Minimo, utilizzabile direttamente in cantina	Alto, richiede personale di laboratorio specializzato
Preparazione del campione	Centrifugazione rapida o degasaggio	Digestione acida complessa
Precisione	Ottima linearità su entrambe le gamme	Riferimento legale metodo
Costo operativo	Reagenti bassi, pronti all'uso, stabili per 6 mesi	Costi più elevati dovuti alle analisi di laboratorio esterne

Conclusione. Il monitoraggio del rame come elemento chiave del controllo di qualità della cantina

La gestione del **rame** rappresenta un elemento fondamentale per la garanzia della qualità nelle cantine moderne. Il **monitoraggio della concentrazione di rame** durante tutto il processo di vinificazione aiuta a prevenire difficoltà di fermentazione, instabilità ossidativa e difetti sensoriali che possono manifestarsi dopo l'imbottigliamento. Sistemi analitici come **CDR WineLab®** consentono alle aziende vinicole di rilevare variazioni anche di soli 0,01 ppm, rendendo possibili interventi tempestivi dopo trattamenti in vigna, operazioni di flottazione o pratiche correttive in cantina.

Sebbene i metodi ufficiali dell'OIV rimangano essenziali per la certificazione normativa, le **analisi rapide effettuate internamente** forniscono ai produttori di vino un potente strumento per proteggere l'**integrità aromatica**, l'**efficienza della fermentazione** e la **stabilità del vino** a lungo termine.