

Strategie di monitoraggio analitico rapido nel cidermaking: presidi chimici e preventivi contro le alterazioni microbiologiche

Dr. Simone Bellassai, Chimico, Enologo, esperto di analisi chimiche su alimenti e bevande - CDR FOODLAB® Division Manager

P2623

1. Introduzione: Criticità biochimiche e vulnerabilità tecnologica del mosto di mela

La produzione di sidro di alta qualità richiede un controllo rigoroso dei complessi processi biochimici ed enzimatici che governano la trasformazione della materia prima. Rispetto al mosto d'uva, il succo di mela presenta una spiccata suscettibilità ai fenomeni ossidativi e una concentrazione di nutrienti azotati spesso limitante per il metabolismo dei lieviti. Tali criticità tecnologiche risultano particolarmente evidenti nel profilo del sidro di Hardanger; l'impiego di cultivar da tavola quali *Summerred*, *Aroma*, *Discovery* e *Gravenstein* mira a ottenere un prodotto finale fresco e leggero, ma impone vincoli chimici severi dovuti alla ridotta concentrazione fenolica e a valori di acidità talvolta elevati.

In tale contesto, l'efficientamento del processo richiede il superamento di una logica d'intervento

ex-post — necessariamente limitata alla correzione di alterazioni organolettiche già manifeste — a favore di una strategia analitica di tipo predittivo e preventivo. Il monitoraggio analitico sistematico consente infatti di identificare tempestivamente le deviazioni metaboliche prima che si traducano in difetti irreversibili. Sia in regime di fermentazione guidata sia in condizioni semi-naturali, l'analisi costante dei parametri chimici rappresenta uno strumento fondamentale per garantire la stabilità chimico-fisica del sidro. Oggi, la transizione verso questo modello predittivo è agevolata dall'introduzione di sistemi analitici ottimizzati, come il sistema **CDR CiderLab**, che permettono l'esecuzione di screening multiparametrici direttamente sulla linea di produzione, eliminando i tempi di attesa del laboratorio esterno.

Parametro	Soglia critica	Rischio	Azione correttiva	Tempistica consigliata
Azoto Assimilabile (APA)	100 mg/L	Rallentamenti o arresti della fermentazione; sintesi di idrogeno solforato (<i>H₂S</i>) con difetto di riduzione (odore di uova marce).	Apporto calibrato di sali d'ammonio (DAP) o nutrienti organici complessi.	Fase pre-fermentativa (prima dell'inoculo).
Acido Acetico (Acidità Volatile)	0.6 g/L	Spunto acetico; produzione di acetato di etile (odore di solvente/colla).	Azzeramento dello spazio di testa nei serbatoi tramite colmatatura; reintegrazione mirata di <i>SO₂</i> libera.	Fase di stoccaggio o keeving; monitoraggio per intercettare trend di crescita.
Anidride Solforosa (<i>SO₂</i>) e pH	pH > 3.8	Inefficacia della <i>SO₂</i> ; sviluppo di <i>Brettanomyces spp.</i> e <i>Saccharomyces ludwigii</i> (agglomerati cellulari).	Correzione preliminare dell'acidità con acido malico per riportare il pH < 3.8 prima della solfitazione.	Prima della solfitazione e durante lo stoccaggio.
Acido L-Malico	Not in source	Fermentazione Malolattica (FML) spontanea post-imbottigliamento con torbidità e sovrappressione; perdita di freschezza in varietà a bassa acidità.	Travasi; blocco con anidride solforosa (<i>SO₂</i>); eventuale acidificazione esogena se pH > 3.8.	Durante la degradazione dell'acido malico e prima del confezionamento.
Zuccheri Residui	Not in source	Sovra-attenuazione (perdita di corpo) o fermentazioni secondarie in bottiglia (sovracarbonazione/esplosione).	Travasi (racking) per arresto fermentazione; chaptalizzazione con saccarosio per barriera alcolica (6-7% vol).	Fase tardiva della fermentazione e pre-imbottigliamento.

Tabella 1 — Mappa dei parametri critici nel controllo di processo del sidro

2. L'Azoto Assimilabile (APA): Regolazione della Cinetica Fermentativa

L'Azoto Assimilabile (Azoto Prontamente Assimilabile, APA) costituisce il principale fattore limitante della cinetica fermentativa nel mosto di mela. Una disponibilità insufficiente di questa frazione nutrizionale non solo determina rallentamenti o arresti della fermentazione alcolica, ma funge da catalizzatore biochimico per deviazioni importanti del profilo aromatico. La carenza di APA compromette la sintesi proteica, inclusa quella dei complessi enzimatici della biomassa cellulare. In condizioni di stress nutrizionale, il metabolismo del lievito attiva la via di riduzione dei solfati e dei solfiti, provocando la sintesi e il rilascio di idrogeno solforato (H₂S), un composto volatile che impartisce al sidro spiacevoli note solforate (riconducibili all'odore di uova marce), espressione del difetto di riduzione. Inoltre, una cinetica fermentativa eccessivamente debole prolunga i tempi di stazionamento del mosto, incrementando esponenzialmente il rischio di ossidazioni precoci e lo sviluppo di microrganismi contaminanti. Il monitoraggio analitico richiede la determinazione quantitativa di APA totale, espresso come somma dell'azoto ammoniacale (inorganico) e dell'azoto amminico libero (organico, o FAN), da effettuarsi tassativamente in fase pre-fermentativa. Tramite la **metodica enzimatica rapida** di CDR CiderLab, questo dato viene ottenuto in pochi minuti e senza necessità di complessi pretrattamenti del campione, consentendo al tecnologo di mappare la reale disponibilità nutrizionale del lotto in tempo reale. Le analisi sulle cultivar della regione dell'Hardanger mostrano una forte variabilità e livelli spesso insufficienti: si va da un minimo di 0.8 mg/L (cv. *Discovery*) a un massimo di 101 mg/L (cv. *Summerred*). La soglia tecnica di sicurezza per garantire il metabolismo basale del lievito e una cinetica regolare è stimata a 100 mg/L di APA. Qualora il saggio analitico evidenzia una concentrazione inferiore a tale valore limite, è necessario procedere all'apporto calibrato di sali d'ammonio, come il fosfato biammonico (DAP), o di nutrienti organici complessi prima dell'inoculo.

3. Acido L-Malico e L-Lattico: Il Controllo della Fermentazione Malolattica (FML)

L'**acido L-malico** costituisce il principale pilastro dell'acidità fissa nel mosto di mela, con picchi che raggiungono i 22.1 g/L nella cultivar *Aroma*. Il monitoraggio della sua degradazione e della contestuale conversione in **acido L-lattico** (Fermentazione Malolattica, FML) è un prerequisito critico per la stabilità del prodotto. Una FML spontanea dopo l'imbottigliamento rovina il sidro,

causando torbidità, aromi sgradevoli e una pericolosa sovrappressione di CO₂. Al contrario, se lasciata libera di agire in varietà già a bassa acidità, finisce per spegnere la freschezza del prodotto. La **determinazione quantitativa dell'acido malico** mediante i test enzimatici e fotometrici ottimizzati sulla piattaforma CDR CiderLab permette di mappare le cinetiche di degradazione con precisione analitica e tempi di risposta immediati. Monitorare questo parametro è essenziale a causa delle forti differenze tra le cultivar: l'acido malico crolla del 70% nella *Gravenstein*, ma diminuisce appena del 9% nella *Summerred*. Un'analisi tempestiva guida il produttore nelle scelte decisive: quando effettuare i travasi e quando bloccare il processo con l'anidride solforosa (SO₂). Inoltre, nei mosti con pH > 3.8, l'acidificazione esogena con acido malico agisce come presidio preventivo, ripristinando l'equilibrio organolettico e incrementando la frazione di SO₂ molecolare attiva contro le contaminazioni microbiche.

4. L'Acidità Volatile (Acido Acetico): Monitoraggio Preventivo dello Spunto Acetico

L'acido acetico è il principale indicatore dell'acidità volatile: riflette la pulizia della linea produttiva e la corretta gestione dell'ossigeno, specialmente durante fasi delicate come lo stoccaggio o il *keeving*. Se questo valore aumenta senza controllo, il sidro rischia lo 'spunto acetico'. Questa alterazione si accompagna spesso alla produzione di acetato di etile, che rovina il prodotto con sgradevoli odori di solvente e colla. Tale difetto è strettamente legato all'attività metabolica precoce di batteri acetici o di lieviti apiculati opportunisti, tra cui *Hanseniospora valbyensis* (sin. *Kloeckera apiculata*), la cui proliferazione è catalizzata dalla presenza di ossigeno e da concentrazioni inferiori alla soglia minima di inibizione di anidride solforosa (SO₂).

Il monitoraggio analitico quantitativo funge da sistema di allarme precoce, poiché consente di intercettare le deviazioni cinetiche prima che il difetto sia percepibile all'olfatto. Attraverso l'impiego del sistema CDR CiderLab, la **quantificazione dell'acido acetico** si può condurre in **10 minuti** tramite una reazione enzimatica su micro quantità di campione. Sebbene la soglia tecnica di accettabilità sia fissata a un massimo di 0.6 g/L, i sidri caratterizzati da un elevato standard qualitativo presentano valori stabili e prossimi al limite di quantificazione strumentale. L'approccio preventivo si basa sull'identificazione di qualsiasi trend di crescita; l'evidenza di un incremento

analitico impone l'adozione immediata di misure di contrasto, quali l'azzeramento dello spazio di testa nei serbatoi tramite colmatatura e la reintegrazione mirata della SO₂ libera.

5. Anidride Solforosa (SO₂): La Chimica della Protezione Selettiva

L'anidride solforosa (SO₂) rappresenta il principale agente di selezione microbiologica e protezione antiossidante nel processo di sidrificazione.

L'efficacia di questo additivo è strettamente condizionata dal pH del mezzo, che ne governa l'equilibrio chimico in soluzione. In ambienti scarsamente acidi (pH > 3.8), tipici dei mosti ottenuti da cultivar di mele di tipo *bittersweet* (dove si registrano valori fino a pH=4.2), la quota di solforosa attiva si riduce drasticamente. Tale condizione espone il prodotto a gravi alterazioni durante lo stoccaggio indotte da lieviti contaminanti e resistenti, quali *Brettanomyces spp.* e *Saccharomyces ludwigii*, quest'ultimo noto per la capacità di generare densi agglomerati cellulari sul fondo delle bottiglie, compromettendo la stabilità visiva del sidro.

Il protocollo di controllo deve focalizzarsi sul monitoraggio analitico accoppiato della **SO₂ libera e totale** e del **valore di pH**. All'aumentare del pH, infatti, l'equilibrio della solforosa devia verso la forma bisolfitica e solfitica, riducendo la frazione di SO₂ molecolare, l'unica forma capace di permeare la membrana cellulare dei microrganismi ed esercitare un'azione biocida; a un valore di pH=4.2, un dosaggio standard di 150 mg/L risulta biologicamente inefficiente. L'approccio preventivo impone quindi la correzione preliminare dell'acidità tramite l'aggiunta esogena di acido malico, al fine di ricondurre il mosto a valori inferiori a pH=3.8 prima della solfitazione.

6. Zuccheri Residui e Densità: Gestire la Stabilità in Bottiglia

La determinazione della densità relativa (*Specific Gravity*, SG) e il monitoraggio analitico del rapporto glucosio/fruttosio rappresentano i parametri fondamentali per stimare il titolo alcolometrico volumico finale e per controllare la pressione parziale di CO₂ endogena nel prodotto confezionato. I ceppi di *Saccharomyces cerevisiae* metabolizzano preferenzialmente il glucosio e lasciano il fruttosio come costituente maggioritario della frazione

glucidica tardiva. Un decorso fermentativo privo di controllo con esaurimento totale degli zuccheri (sovra-attenuazione), priva il sidro del corpo e della rotondità palatale. Al contrario, la permanenza di zuccheri residui non biologicamente stabili espone il lotto al rischio di cinetiche secondarie tardive post-imbottigliamento; tale fenomeno induce difetti di sovra-carbonazione incontrollata e incrementa la pressione interna.

Sotto il profilo analitico, la valutazione della densità relativa richiede l'integrazione con la mappatura quantitativa del profilo zuccherino residuo. **La determinazione rapida delle singole frazioni glucidiche (glucosio, fruttosio e saccarosio)**, eseguibile tramite CDR CiderLab, permette di validare il dato densimetrico e di guidare con precisione le operazioni di travaso (*racking*) necessarie all'arresto della fermentazione. Qui entra in gioco la chaptalizzazione: aggiungere saccarosio per portare l'alcol al 6-7% vol serve a creare una vera e propria barriera microbiologica. L'alcol in più, unito al pH acido e alla SO₂, protegge gli zuccheri rimasti in bottiglia da fermentazioni indesiderate, garantendo la stabilità del prodotto.

8. Conclusione

Nel *cidermaking* moderno, le analisi sulla linea di produzione non sono un costo o una complicazione, ma una scelta strategica indispensabile per proteggere il prodotto e valorizzare ogni lotto. La capacità di trasformare l'intuizione artigianale in precisione scientifica quantificabile rappresenta l'unico mezzo per prevenire la perdita parziale o totale di lotti produttivi, garantendo al contempo la costanza qualitativa e la riconoscibilità sensoriale richieste dal mercato globale.

In questo quadro di evoluzione metodologica, il sistema **CDR CiderLab** si configura come **una soluzione analitica ottimizzata per il controllo di processo**. Grazie a test fotometrici in cuvette pre-riempite, il sistema supera i vincoli operativi del laboratorio chimico tradizionale: azzerata la necessità di calibrazioni complesse, riduce drasticamente la manipolazione dei reagenti e necessita esclusivamente di micro-volumi di campione, escludendo preventivi e laboriosi passaggi di filtrazione o centrifugazione. La spiccata rapidità di esecuzione consente l'adozione di interventi correttivi immediati direttamente nell'ambiente di produzione.

Sitografia e Risorse Istituzionali Internazionali (dai link forniti)

Questi collegamenti rappresentano le principali piattaforme di ricerca, estensioni universitarie e istituti tecnici dedicati alla scienza della sidrificazione:

- **ScienceDirect Topics** – *Cider (Agricultural and Biological Sciences)* Risorsa enciclopedica e scientifica per la consultazione di capitoli di libri e paper di revisione sulla biochimica del sidro.

Link: <https://www.sciencedirect.com/topics/agricultural-and-biological-sciences/cider>

- **Cornell AgriTech (Cornell University)** – *Hard Cider Products & Research* Centro d'eccellenza accademico per lo studio delle cultivar, della fermentazione e dello sviluppo tecnologico della filiera del sidro.

Link: <https://cals.cornell.edu/cornell-agritech/products-we-research/hard-cider>

- **Agriculture Institute** – *Industrial Cider Production Techniques & Technology* Portale tecnico focalizzato sulla chimica alimentare, la fisiologia dei microrganismi e le moderne pratiche di cantina su scala industriale.

Link: <https://agriculture.institute/food-chemistry-and-physiology/industrial-cider-production-techniques-technology/>

- **The Wittenham Hill Cider Pages (Andrew Lea)** – *Cider and Perry Making* Una delle risorse storiche e tecniche di riferimento scientifico per i protocolli tradizionali e moderni di sidrificazione.

Link: <https://www.cider.org.uk/frameset.htm>

- **Washington State University (WSU)** – *Cider Research & Extension* Programma universitario specializzato nell'analisi delle matrici frutticole, prove di vinificazione e stabilità microbiologica del sidro.

Link: <https://cider.wsu.edu/>

- **Cider Institute of North America (CINA)** Organizzazione di riferimento per la formazione professionale, la standardizzazione dei parametri chimico-fisici e le certificazioni nel cidermaking.

Link: <https://www.ciderinstitute.com/>