

A cura di:



David
Ferreira¹



Fabrizio
Battista¹



Anne
Ortiz-Julien¹



Jose Maria
Heras¹

NUTRIZIONE DEL LIEVITO: OLTRE L'APA, IL RUOLO CHIAVE DELLE GOCCE LIPIDICHE

Per anni l'attenzione si è concentrata quasi esclusivamente sull'azoto prontamente assimilabile. Oggi nuove evidenze mostrano che lipidi, vitamine e minerali influenzano in modo determinante vitalità, resistenza agli stress ed efficienza fermentativa. Quale ruolo svolgono le gocce lipidiche?

Sebbene l'azoto prontamente assimilabile (apa) rappresenti un parametro fondamentale per la gestione nutrizionale della fermentazione alcolica, oggi è sempre più evidente che le prestazioni del lievito dipendano da un equilibrio nutrizionale più ampio. Questo approccio diventa ancora più rilevante in un contesto viticolo caratterizzato da stress ambientali sempre più frequenti: siccità, ondate di calore, alluvioni possono modificare la composizione dell'uva, aumentando il rischio di carenze o squilibri di nutrienti fondamentali per il metabolismo fermentativo. Lipidi, vitamine e minerali svolgono infatti funzioni essenziali nel metabolismo cellulare, nella risposta agli stress fermentativi e nel mantenimento della vitalità del lievito. Tra questi elementi funzionali, le gocce lipidiche (*lipid droplets*) stanno emergendo come uno dei principali fattori coinvolti nella sopravvivenza del lievito durante la fermentazione alcolica e nell'adattamento agli stress associati a questo processo.

L'importanza dei lipidi

I lipidi influenzano parametri chiave della fermentazione, come crescita del

lievito, vitalità cellulare, cinetica fermentativa e produzione di aromi. Oltre agli steroli, il cui ruolo è ampiamente documentato – in particolare durante la fase di reidratazione del lievito –, studi recenti evidenziano l'importanza di altre classi lipidiche nel sostenere la funzionalità della membrana cellulare e l'efficienza metabolica del lievito (**Fig. 1**).

La concentrazione e la disponibilità dei lipidi nel mosto possono variare considerevolmente in funzione della composizione dell'uva e delle pratiche prefermentative adottate.

Tra queste, la chiarifica rappresenta una delle operazioni con il maggiore impatto sul contenuto lipidico, poiché rimuove parte delle frazioni solide naturalmente ricche di lipidi (Karagiannis e Lanaridis, 2002). Quando particolarmente spinta, può ridurre in modo significativo la disponibilità di questi composti, aumentando il rischio di fermentazioni lente o difficoltose e limitando, al tempo stesso, la formazione di alcuni composti aromatici.

All'inizio della fermentazione, i lieviti dispongono di una riserva lipidica limitata, che tende a diluirsi progressivamente con l'aumento della biomassa. Per questo, la quantità e la qualità dei

¹ - Lallemand INC

lipidi disponibili nel mosto rappresentano fattori determinanti per sostenere la crescita, preservare la vitalità cellulare e garantire prestazioni fermentative regolari, soprattutto in condizioni tecnologiche o nutrizionali più sfidanti.

Quale è il ruolo fondamentale delle gocce lipidiche per *Saccharomyces cerevisiae* durante la fermentazione?

Le gocce lipidiche sono come piccole riserve di grassi (steroli e acidi grassi) all'interno della cellula del lievito.

Oggi si è compreso che non sono semplici "depositi passivi", ma vanno considerate strutture dinamiche che aiutano il lievito a gestire il metabolismo lipidico, a proteggersi dagli stress e a mantenere la funzionalità cellulare.

Durante la fermentazione alcolica, il lievito è sottoposto a numerosi fattori di stress, tra cui elevate concentrazioni zuccherine, aumento progressivo dell'etanolo, limitazioni nutrizionali e ridotta disponibilità di ossigeno.

In queste condizioni, il mantenimento di una membrana cellulare efficiente diventa essenziale, poiché consente al lievito di assorbire zuccheri e nutrienti, espellere metaboliti e preservare il proprio equilibrio cellulare. Le gocce lipidiche funzionano quindi come una sorta di serbatoio di emergenza, in grado di fornire lipidi quando il lievito ne ha bisogno (Fig. 2).

Il ruolo chiave di vitamine e minerali

Le vitamine e i minerali sono micronutrienti essenziali per il corretto metabolismo fermentativo del lievito (vedi tabella). Sebbene siano necessari in concentrazioni molto basse – da µg/L a mg/L, quindi nettamente inferiori rispetto a nutrienti come l'azoto – svolgono funzioni fondamentali come cofattori enzimatici in numerosi processi metabolici, tra cui il metabolismo del carbonio e dell'azoto, il bilancio redox e il metabolismo lipidico. In particolare, le vitamine del gruppo B e minerali quali Mg, Mn e Zn rivestono un ruolo chiave per *Saccharomyces cerevisiae* durante la fermentazione alcolica.

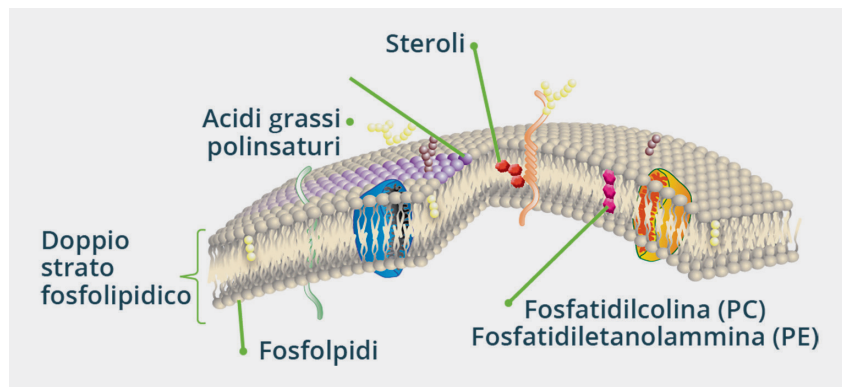


Fig.1 - Rappresentazione schematica della membrana del lievito, con focus sulla diversità dei lipidi che la compongono

Carenze di elementi funzionali

Le carenze nutrizionali raramente interessano un singolo elemento. Nella pratica enologica si osservano frequentemente squilibri multipli che possono compromettere contemporaneamente diversi aspetti del metabolismo del

lievito. Vitigno, condizioni pedoclimatiche, maturazione dell'uva, tecniche estrattive e livello di chiarifica del mosto influenzano in modo significativo la disponibilità di lipidi, vitamine e micronutrienti. Risultati recenti indicano che gli effetti negativi di una carenza vitaminica possono essere amplificati in presenza di squilibri dell'apa. In con-

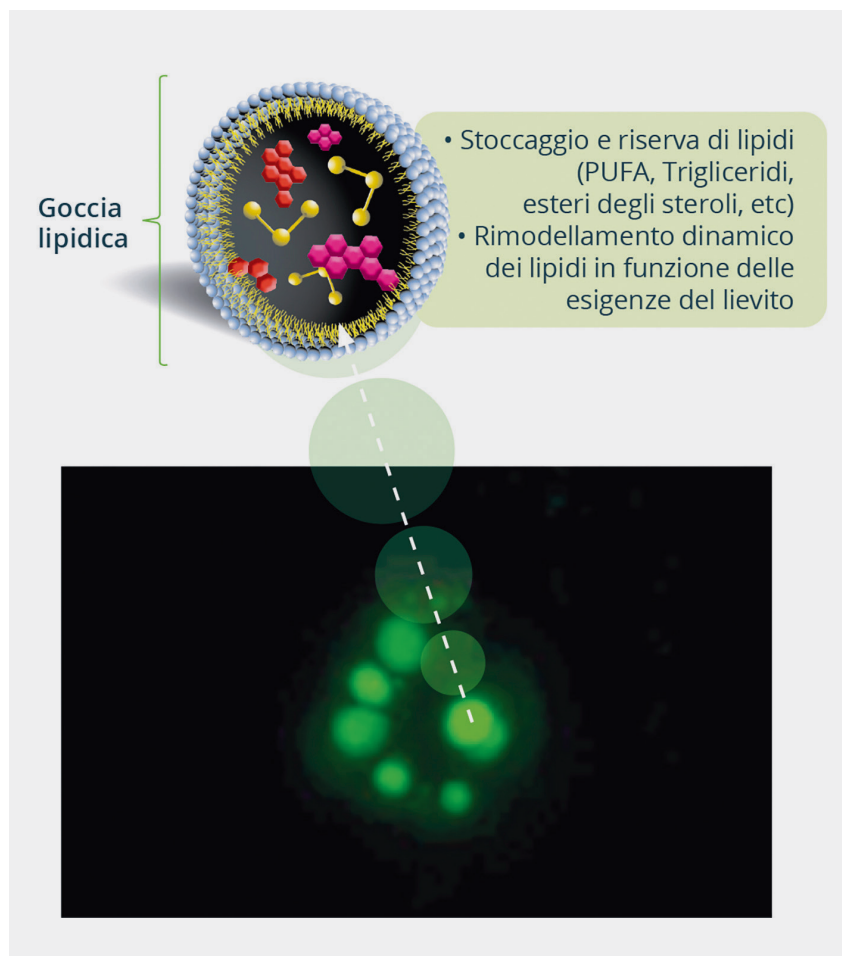


Fig.2a (sopra) - Illustrazione di una goccia lipidica. Fig.2b (sotto) - Gocce lipidiche evidenziate in verde in *Saccharomyces cerevisiae*, colorate con Bodipy 493/503, che ne mostrano dimensione e importanza all'interno della cellula del lievito (Bouyx, 2021)



Vitamina o minerale	Ruolo metabolico principale	Via metabolica/ funzione	Conseguenze della carenza
B1 (Tiamina)	Cofattore centrale del metabolismo del carbonio	Glicolisi, via dei pentosi fosfati (PPP), formazione di etanolo	Fermentazioni lente, accumulo di piruvato e α -chetoadidi, difetti aromatici
B2 (Niacina)	Bilanciamento Redox ($\text{NAD}^+/\text{NADP}^+$)	Glicolisi, produzione di etanolo	Squilibrio redox, cinetica fermentativa compromessa
B5 (Acido pantotenico)	Precursore del CoA→metabolismo dell'acetil-CoA	Lipidi, steroli, esteri	Ridotta crescita, fermentazione lenta, ↑ H_2S
B6 (Piridossina)	Cofattore delle aminotransferasi	Metabolismo dell'azoto, via di Ehrlich	Scarsa assimilazione dell'azoto, profilo aromatico alterato
B8 (Biotina)	Biosintesi acidi grassi	Sintesi delle membrane, adattamento allo stress	Arresto della crescita, fermentazioni bloccate, perdita di vitalità
B9 (Folati)	Metabolismo delle unità monocarboniose	Nucleotidi, amminoacidi, biomassa	Scarsa divisione cellulare, popolazione ridotta, fermentazione debole
Mg_{2+}	Reazioni ATP-dipendenti	Glicolisi, trasporto, ribosomi	Metabolismo ridotto, sensibilità allo stress, fermentazione lenta
Mn_{2+}	Cofattore enzimatico + difesa antiossidante	Mn-SOD, detossificazione ROS	Stress ossidativo, perdita di vitalità
Zn_{2+}	Cofattore enzimatico e trascrizionale	ADH, regolazione genica	↓ produzione di etanolo, cinetiche lente, ↑ acetaldeide

Tab 1 - Vitamine e minerali necessari ai lieviti enologici durante la fermentazione alcolica

dizioni di elevata disponibilità di azoto, ma con carenze di vitamine del gruppo B, il metabolismo del lievito può perdere efficienza, riducendo la capacità di assimilare l'azoto e compromettendo la vitalità cellulare. Ciò può favorire fermentazioni lente e una maggiore sensibilità agli stress fermentativi (Bisson, 1999; Walker and Stewart, 2016). In mosti poveri di vitamine, un apporto eccessivo di azoto inorganico aumenta il rischio di deviazioni fermentative legate al metabolismo dello zolfo. Questa condizione può favorire uno squilibrio del potenziale redox, una ridu-

zione della vitalità del lievito e una maggiore produzione di H_2S e altri composti solforati responsabili di difetti riduttivi. In particolare, la carenza di acido pantotenico è stata identificata come uno dei principali fattori coinvolti nell'alterazione del metabolismo dello zolfo in presenza di elevati tenori di azoto (Duc et al. 2017, 2020). Queste osservazioni confermano che la gestione nutrizionale della fermentazione non può basarsi esclusivamente sul valore di APA, ma deve considerare l'equilibrio complessivo tra azoto, lipidi, vitamine e minerali.

Nuovo nutriente completo per ripensare la strategia nutrizionale

Quando il mosto presenta carenze o squilibri nutrizionali, una gestione mirata della fermentazione diventa essenziale. Per questo, da oltre vent'anni, la nutrizione dei lieviti è al centro delle nostre attività di ricerca e sviluppo. Numerosi progetti di dottorato dedicati a lipidi, vitamine, lieviti *Saccharomyces* e *non-Saccharomyces* (Duc, 2017; Piva, 2022; Bouyx, 2021; Mbuyane, 2022) hanno portato allo sviluppo di

PERFORMENS M™, un nutriente metabolicamente coerente che integra in modo bilanciato macro- e micronutrienti chiave. Le più recenti conoscenze sul ruolo dei fattori di sopravvivenza del lievito hanno stimolato lo sviluppo di approcci nutrizionali capaci di integrare fonti complementari di azoto, lipidi e micronutrienti.

In questo contesto, **PERFORMENS M™** è stato formulato a partire dalla combinazione di due autolisati selezionati, caratterizzati da profili compositivi differenti e complementari, integrati con tiamina. L'autolisato di *Metschnikowia pulcherrima* presente in **PERFORMENS M™**, derivato dal ceppo Mp77, è stato specificamente selezionato per la sua elevata capacità di accumulare lipidi specifici, in particolare

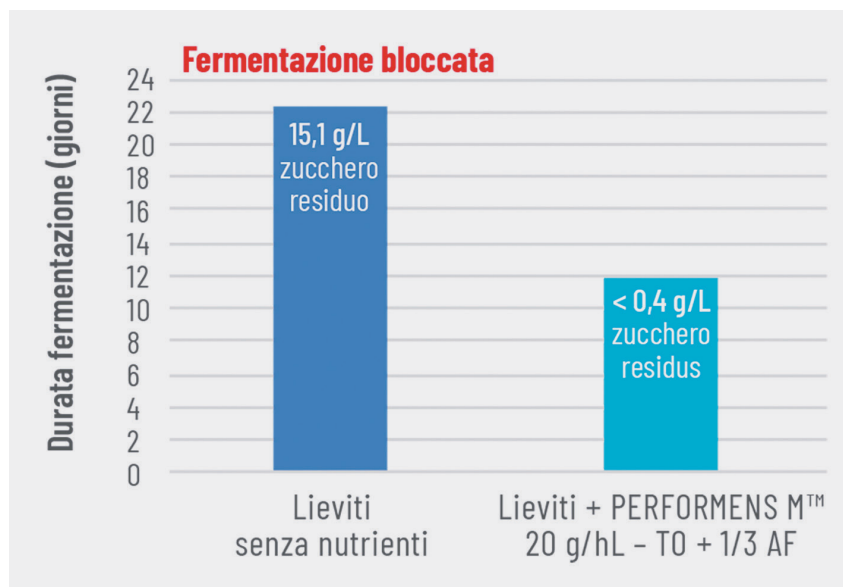


Fig.3 - Durata della fermentazione in un mosto con carenza di lipidi ma senza carenza di APA, vitamine e minerali, con e senza **PERFORMENS M™** aggiunto in due momenti a 20 g/hL ciascuno

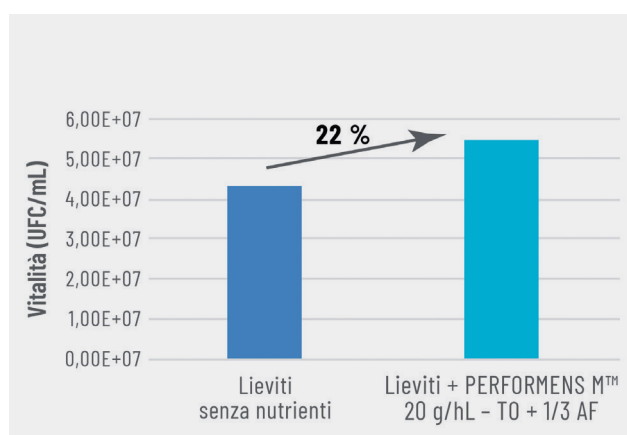
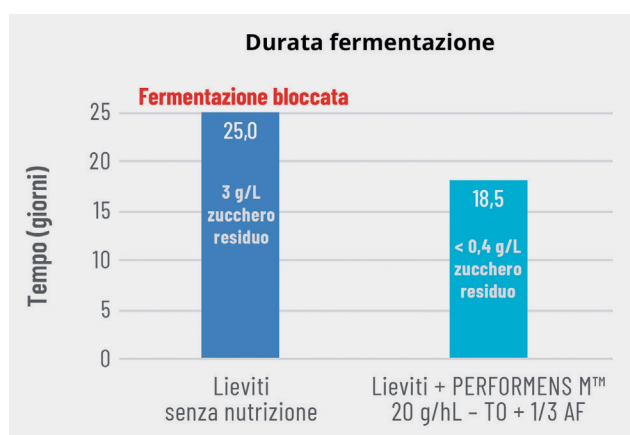


Fig.4a e b - Durata della fermentazione e vitalità dei lieviti in un mosto con carenza di apa, vitamine e lipidi, con e senza **PERFORMENS M™** aggiunto in due momenti a 20 g/hL ciascuno

acidi grassi polinsaturi come l'acido linoleico e linolenico, oltre alle gocce lipidiche. Inoltre sempre grazie al suo metabolismo differenziato, principalmente respiratorio, ed alla gestione degli stress ossidativi questo autolisato è particolarmente ricco in vitamine del gruppo B e minerali, principalmente zinco e manganese.

L'autolisato di *Saccharomyces cerevisiae* Sc88 apporta azoto organico sotto forma di aminoacidi e piccoli peptidi, oltre a minerali e ulteriori composti funzionali coinvolti nella robustezza e nella sopravvivenza del lievito. La combinazione dei due autolisati consente di ampliare il profilo nutrizionale disponibile per il lievito, sostenendone il metabolismo durante le diverse fasi della fermentazione.

Dalla teoria alla pratica

In una prova eseguita su un mosto fortemente chiarificato, con carenza di lipidi ma senza carenze di vitamine, minerali o APA la fermentazione senza integrazioni si è bloccata, mentre l'utilizzo di **PERFORMENS M™** ha consentito di avere una fermentazione completa e regolare (**Fig. 3**). In un'altra prova condotta su un mosto caratterizzato da carenze multiple di apa, vitamine e lipidi, l'impiego di **PERFORMENS M™** ha consentito di ottenere una fermentazione più rapida e completa rispetto al controllo, associata a un incremento della vitalità cellulare (**Fig. 4**). Questi risultati confermano che la nutrizione del lievito non può essere valutata esclusivamente attraverso il contenuto di apa. La di-

sponibilità di lipidi, vitamine e minerali rappresenta un elemento determinante per sostenere la vitalità cellulare e l'efficienza fermentativa. Strategie nutrizionali basate su una maggiore diversità di composti funzionali possono quindi contribuire a migliorare l'affidabilità delle fermentazioni, in particolare in mosti caratterizzati da squilibri nutrizionali multipli.

