



Application Note AN-PAN-1057

Monitoraggio in linea dei processi di fermentazione

Determinazione di parametri multipli in un brodo di fermentazione per la produzione di bioetanolo

RIASSUNTO

Negli ultimi anni, l'interesse per lo sviluppo di combustibili alternativi e rinnovabili è cresciuto. Il bioetanolo è un buon sostituto dei combustibili fossili. Può essere ricavato da materiali come zucchero, amido o biomassa lignocellulosica, come il mais in grani.

La produzione globale di etanolo ha superato i 28 miliardi di galloni nel 2022 [1]. L'etanolo viene prodotto principalmente attraverso il processo di fermentazione. La fermentazione trasforma gli

zuccheri presenti nella biomassa in etanolo attraverso l'uso del lievito.

È noto che la qualità della materia prima può variare da una stagione all'altra, il che richiede ai produttori di etanolo di adattarsi a ciascun lotto. Grazie all'utilizzo della spettroscopia nel vicino infrarosso (NIRS) in linea, è possibile monitorare simultaneamente diversi parametri qualitativi della fermentazione direttamente nel serbatoio, come illustrato in questa Process Application Note.

INTRODUZIONE

Per garantire un'elevata resa e un'elevata qualità dell'etanolo, è necessario monitorare numerosi parametri durante la produzione. Tradizionalmente, la quantità di reagenti, prodotti e sottoprodotto viene misurata in laboratorio dopo aver prelevato un campione dal processo. Tuttavia, i metodi di laboratorio manuali possono comportare tempi di risposta lunghi in caso di modifiche al processo (ad esempio, temperatura, miscela di reazione, livelli di umidità) e la preparazione del campione (diluizione, filtrazione, pipettaggio) può introdurre errori che alterano la precisione dell'analisi.

Inoltre, può essere piuttosto macchinoso poiché sono necessarie più tecniche e/o metodi operativi per analizzare i seguenti parametri: etanolo, destrina (DP4), maltotriosio (DP3), maltosio, glucosio, acido

lattico, glicerolo e acido acetico (Tabella 1), insieme a umidità e solidi (enzimi).

In qualsiasi processo chimico, il monitoraggio «in tempo reale» consente una modellazione e un controllo ottimali del processo, il che si traduce in una maggiore produttività, riproducibilità e produttività. Ad esempio, un monitoraggio e un controllo rigorosi sui vari zuccheri presenti (glucosio, maltosio, DP3 e DP4) durante tutto il processo di fermentazione sono necessari per comprendere il percorso di degradazione dell'amido (generazione di glucosio) presente nel mosto e ottimizzare la produzione di etanolo [2]. La comprensione del percorso dello zucchero consente il corretto dosaggio di «miscela enzimatica» e «miscela di lievito» nel mosto nei serbatoi di fanghi per accelerare la degradazione [3].

Pertanto, l'ottimizzazione della miscela di enzimi e lieviti è fondamentale per questo processo. Questi rappresentano i costi di consumo più elevati per la produzione di etanolo e incidono significativamente sulla velocità di produzione e sulla resa finale dell'etanolo.

L'analisi in linea fornisce dati di processo in tempo reale. Questi dati aiutano i produttori a determinare il tempo di fermentazione ottimale (Figura 1). Consentono inoltre di regolare la velocità di rotazione della girante e le temperature del serbatoio. Queste regolazioni possono aumentare la produzione di etanolo utilizzando gli stessi materiali. Un tempo di fermentazione ridotto significa poter effettuare più lotti di fermentazione giornalieri, con conseguenti maggiori profitti.

Per una fermentazione ottimale, è necessario monitorare più parametri in modo più sicuro, efficiente e rapido, cosa possibile tramite analisi in linea con spettroscopia nel vicino infrarosso (NIRS) senza reagenti (Figura 2). Metrohm Process Analytics offre 2060 *The NIR Analyzer* (Figure 3) che consente il

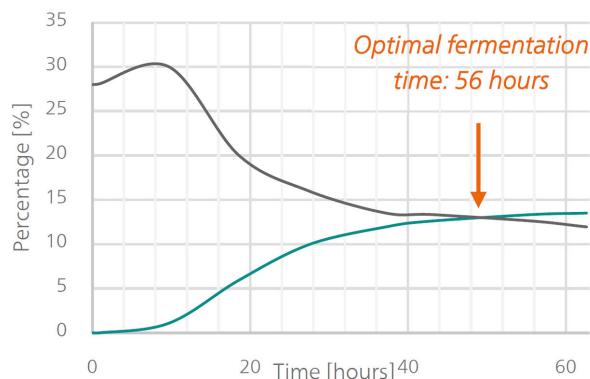


Figura 1. Grafico di tendenza per un processo di fermentazione dell'etanolo (verde: etanolo, grigio: solidi [enzimi]).

confronto diretto dei dati spettrali in tempo reale provenienti dal processo con un metodo di riferimento (ad esempio, HPLC) per creare un modello di calibrazione semplice ma indispensabile, utilizzato per produrre risultati quantitativi durante il processo di fermentazione.

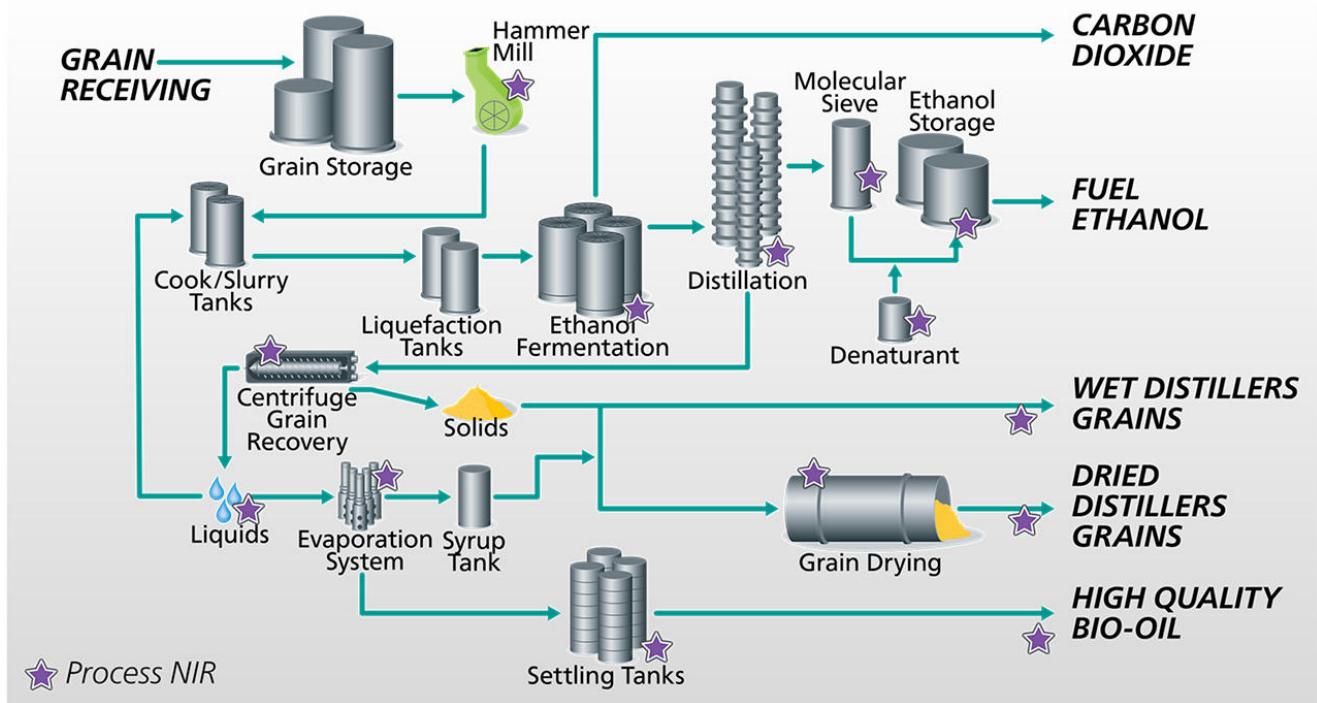


Figure 2. Illustrazione di un tipico processo di macinazione a secco dell'etanolo dai cereali, con stelle viola che indicano i punti di analisi NIR del processo suggeriti.



Figure 3. 2060 The NIR Analyzer di Metrohm Process Analytics.

Le misurazioni possono essere eseguite direttamente in linea grazie a una sonda a immersione dedicata (**Tabella 2**) accoppiata a fibre microbundle. Tale combinazione consente la misurazione NIR di campioni con solidi sospesi e presenza di bolle, senza

richiedere filtri attorno alla sonda che potrebbero ostruirsi durante la fermentazione. Laddove sia disponibile un bypass o un circuito rapido, si consiglia l'utilizzo di una cella a flusso in modo da poter rimuovere i solidi prima delle misurazioni.

Tabella 2. Soluzioni dedicate per le tue esigenze di campionamento NIRS.

Probe Type	Applications	Processes	Installation
Micro interactance reflectance probe	Solidi (ad esempio, polveri, granuli)	Polimerizzazione in massa	Diretto nella linea di processo
	Fanghi con >15% di solidi	Estrusione a caldo	Raccordo a compressione o flangia saldata
Micro interactance immersion probe	Liquidi trasparenti per dispersione	Fase risolutiva	Diretto nella linea di processo
	Fanghi con <15% di solidi	Estrusione a temperatura e pressione controllate	Raccordo a compressione o flangia saldata
Micro transmission probe pair	Liquidi trasparenti per dispersione	Fase risolutiva	Direttamente nella linea di processo o nel reattore
	Fanghi con <15% di solidi	Estrusione a temperatura e pressione controllate	In un circuito laterale
Micro interactance reflectance probe with purge on collection tip			
	Solidi (ad esempio, polveri, granuli)	Essiccazione di granuli e polveri	Direttamente nell'essiccatore a letto fluido, nel reattore o nella linea di processo

Tabella 1. Parametri chiave da monitorare con NIRS durante la produzione di etanolo tramite fermentazione.

Parametri	Range (%)
Ethanol	0–15
Glucose	0–8
Maltose	0–7
DP3 & DP4	0–15
Acetic acid	0–0.5
Glycerol	0–1
Lactic acid	0–0.25

NOTE

An appropriate range of samples covering the fermentation process is needed to build a calibration model. These samples will be analyzed via NIRS and

also via a primary reference method. The precision of the NIRS data is **directly correlated** to the precision of the reference method.

I metodi di analisi tradizionali non forniscono sufficienti informazioni in tempo reale sulle prestazioni del processo di fermentazione per la produzione di bioetanolo. L'analisi in linea con NIRS può fornire informazioni più rapide sul processo di fermentazione, ideali per un feedback rapido (circa ogni 30 secondi) e una maggiore produttività del processo.

L'analisi NIRS consente il confronto dei dati spettrali in tempo reale con un metodo primario (ad esempio,

titolazione, titolazione Karl Fischer, HPLC, IC) per sviluppare un modello semplice ma essenziale per soddisfare le esigenze del processo di fermentazione. Migliora e ottimizza la gestione della produzione utilizzando Metrohm Process Analytics **2060 The NIR Analyzer**, che garantisce un controllo della fermentazione ancora maggiore monitorando fino a cinque punti di processo per cabina NIR con l'opzione multiplexer.

RIFERIMENTI

1. *Global ethanol production for fuel use 2022.*
Statista.
<https://www.statista.com/statistics/274142/global-ethanol-production-since-2000/>
(accessed 2023-10-04).
2. Chang, Y.-H.; Chang, K.-S.; Chen, C.-Y.; et al. Enhancement of the Efficiency of Bioethanol Production by *Saccharomyces Cerevisiae* via Gradually Batch-Wise and Fed-Batch Increasing the Glucose Concentration. *Fermentation* 2018, 4 (2), 45.
<https://doi.org/10.3390/fermentation4020045>
3. Devantier, R.; Pedersen, S.; Olsson, L. Characterization of Very High Gravity Ethanol Fermentation of Corn Mash. Effect of Glucoamylase Dosage, Pre-Saccharification and Yeast Strain. *Appl Microbiol Biotechnol* 2005, 68 (5), 622–629.
[https://doi.org/10.1007/s00253-005-1902-9.](https://doi.org/10.1007/s00253-005-1902-9)

BENEFICI DI NIRs IN PROCESSO

- **Produzione sicura** grazie al monitoraggio «in tempo reale» e alla mancata esposizione dell'operatore a reagenti chimici.
- **Maggiori risparmi per misurazione**, rendendo i risultati più convenienti.
- **Aumento della produttività**, della riproducibilità, dei tassi di produzione e della redditività del prodotto (ottimizzazione dei tempi di fermentazione).



ULTERIORI LETTURE

[Monitoraggio in tempo reale della fermentazione dell'acido ialuronico mediante spettroscopia di](#)

[transflettanza in situ](#)

CONTACT

Metrohm Italiana Srl
Via G. Di Vittorio, 5
21040 Origgio (VA)

info@metrohm.it

CONFIGURAZIONE



2060 The NIR Analyzer

Lo strumento 2060 *The NIR Analyzer* rappresenta la prossima generazione degli strumenti per spettroscopia di processo prodotti da Metrohm Process Analytics. Con il suo design unico e comprovato, curato in ogni minimo dettaglio, garantisce risultati precisi ogni *10 secondi*. Può essere utilizzato per l'analisi non distruttiva di liquidi e solidi direttamente nella linea di processo o in un recipiente di reazione utilizzando sonde a contatto e a fibre ottiche. È stato progettato per permettere di collegare fino a cinque (5) sonde e/o celle di flusso. Tutti e cinque i canali sono configurabili indipendentemente l'uno dall'altro con il versatile software brevettato, integrato.

In quanto parte di 2060 Platform, 2060 *The NIR Analyzer* è stato concepito in modo modulare ed è disponibile in altre tre versioni: 2060 *The NIR-R Analyzer*, 2060 *The NIR-Ex Analyzer* e 2060 *The NIR-REx Analyzer*.