

Sfide del controllo qualità nelle bevande analcoliche moderne: strategie analitiche e case study

Dott.ssa Francesca Bruni - Ricercatrice presso il Laboratorio Chimico CDR "Francesco Bonicolini"

Abstract

L'evoluzione del mercato globale dei soft drink verso formulazioni funzionali, a basso contenuto di zuccheri e low-alcohol ha incrementato significativamente la complessità analitica richiesta per il controllo qualità industriale. Le metodiche ufficiali tradizionali, come HPLC e Gascromatografia, pur rappresentando il riferimento normativo, risultano spesso onerose in termini di tempi e costi per il monitoraggio di routine. Questo studio presenta una caratterizzazione analitica avanzata condotta su un panel eterogeneo di bevande commerciali (inclusi energy drink, sode agli agrumi, cola artigianali e aperitivi a base vino) utilizzando il sistema fotometrico enzimatico CDR DrinkLab. L'obiettivo è stato quello di valutare l'applicabilità di un flusso di lavoro analitico semplificato per la determinazione di parametri critici quali caffea, alcol, zuccheri e profilo acidimetrico. I risultati dimostrano l'efficacia del metodo nel quantificare accuratamente la caffea in matrici complesse (range rilevato 65 - 249 mg/L) e nel rilevare tracce di alcol con una sensibilità fino a 0,002% vol, fondamentale per garantire la conformità normativa dei prodotti analcolici. Inoltre, la caratterizzazione del profilo acidimetrico (citrico vs fosforico) ha fornito indicazioni coerenti con le aspettative sensoriali e di stabilità. In conclusione, l'approccio fotometrico si conferma una valida alternativa operativa ai metodi classici, offrendo rapidità di esecuzione e ridotta manipolazione del campione, supportando efficacemente la compliance normativa e la gestione della shelf-life.

1. Introduzione: Lo Scenario di Mercato e l'Evoluzione del Settore

I soft drink rappresentano oggi una categoria vasta ed eterogenea di bevande analcoliche, che si è evoluta significativamente dalle prime miscele storiche del XVII secolo a base di acqua e succhi di agrumi.

Le formulazioni moderne sono tecnologicamente sofisticate e sono in genere prodotte a partire da acqua minerale con l'aggiunta di uno o più dei seguenti componenti:

- monosaccaridi e disaccaridi o dolcificanti intensi
- acidificanti e regolatori di acidità, principalmente acido citrico, fosforico e malico
- aromi naturali o identici a quelli naturali
- estratti botanici, succhi di frutta o puree
- anidride carbonica
- ingredienti funzionali autorizzati come caffea fino a 320 mg/L, taurina, vitamine
- possibile contenuto alcolico residuo o aggiunto intenzionalmente inferiore all'1,2% vol nelle bevande pronte all'uso a basso contenuto alcolico

Il mercato sta subendo una profonda trasformazione. Sebbene l'Italia registri un consumo pro capite (circa 50 L/anno) inferiore alla media UE (95 L/anno nel 2023), si osserva un calo dei

prodotti tradizionali ad alto contenuto di zucchero a favore di segmenti in crescita come bevande premium, craft, a basso contenuto di zuccheri e funzionali (energy drink, aperitivi analcolici). A livello globale, la domanda si orienta verso "etichette pulite" (clean labels) e ingredienti naturali. In questo contesto competitivo, il controllo analitico diventa una necessità strategica non solo per la conformità normativa, ma per garantire la consistenza della formulazione e la stabilità della shelf-life.

2. La Sfida Analitica: Parametri Critici e Metodologie

La caratterizzazione chimica delle bevande analcoliche è un requisito fondamentale per garantire la conformità alle normative, la sicurezza del prodotto e una qualità sensoriale costante. Data l'estrema eterogeneità di questa categoria, i metodi analitici devono essere attentamente selezionati e adattati a ciascun parametro, considerando sia il suo ruolo tecnologico che il suo impatto sensoriale.

• **Caffeina e Ingredienti Funzionali:** Questo segmento è strettamente regolamentato; in Europa, concentrazioni di caffea superiori a 150 mg/L richiedono etichettatura specifica.

• **Alcol e Marcatori di Fermentazione:** Nei prodotti Low-Alcohol (< 1,2% vol) e analcolici, il tenore alcolico è critico. Livelli anche minimi (< 0,5% vol) possono indicare fermentazioni indesiderate di lieviti, impattando sul profilo aromatico e sulla classificazione legale.

Parallelamente, l'acido lattico (D- e L-) funge da marcitore di contaminazione batterica e alterazione del prodotto.

• **Profilo Acidimetrico e Zuccherino:** Il pH (tipicamente 2.5–4.0) e il profilo degli acidi (citrico, malico, fosforico) influenzano direttamente la stabilità microbiologica e il gusto. Analogamente, il monitoraggio di glucosio, fruttosio e saccarosio è essenziale per definire il potere dolcificante e prevenire fermentazioni secondarie.

3. Lo studio: selezione dei campioni e Workflow analitico

Per valutare l'applicabilità di metodiche rapide in questo scenario complesso, è stato condotto uno

studio su un panel rappresentativo di bevande presenti sul mercato italiano.

Descrizione del pannello di campioni

Sono stati selezionati campioni appartenenti a diverse categorie merceologiche:

- Campioni A e B:** Bevande ad alto contenuto di caffeina a base di caffè.
- Campioni C, D, H:** Bevande alcoliche gassate a base vino (inclusi cocktail spritz).
- Campioni E e I:** Sode agli agrumi (arancia e mandarino).
- Campione F:** Cola artigianale classica.
- Campione G:** Aperitivo analcolico gassato.

Metodologia Analitica

Le analisi sono state eseguite utilizzando il sistema **CDR DrinkLab**. I metodi impiegati si basano su reagenti enzimatici pre-calibrati che richiedono micro-volumi di campione. Il pre-trattamento è stato limitato a un semplice degassamento del campione, rendendo il flusso di lavoro idoneo per ambienti di controllo qualità industriale.

4. Risultati e Discussione

L'analisi ha dimostrato la capacità del sistema di caratterizzare matrici complesse con tempi ridotti e minima preparazione.

Di seguito si riportano le evidenze principali emerse dai dati sperimentali.

| Sample type | Caffeine (mg/L) | Alcohol (% vol) | Total acidity (g/L citric acid) | Citric acid (g/L) | Sugars (g/L) | pH | Phosphoric acid (mg/L) |
|--------------------------------|-----------------|-----------------|---------------------------------|-------------------|--------------|------|------------------------|
| A - Caffeinated drink | 249 | < 0,002 | - | - | - | - | - |
| B - Caffeinated drink | 118 | < 0,002 | - | - | - | - | - |
| C - Carbonated alcoholic drink | < 10 | 8,3 | - | - | - | - | - |
| D - Carbonated alcoholic drink | < 10 | 8,4 | - | - | - | - | - |
| E - Orange soda | < 10 | < 0,002 | 4,6 | 3,3 | 118 | 3,49 | < 10 |
| F - Cola | 65 | < 0,002 | - | - | 105 | - | 886 |
| G - Non-alcoholic aperitif | < 10 | 9,5 | - | - | - | - | - |
| H - Strawberry cocktail spritz | < 10 | 7,2 | - | - | - | - | - |
| I - Mandarin soda | < 10 | < 0,002 | 6,9 | 6,3 | 146 | 3,58 | < 10 |

Quantificazione della Caffeina La determinazione della caffeina si è rivelata affidabile indipendentemente dalla colorazione o complessità della matrice.

- Nel **Campione A** (bevanda al caffè), è stata rilevata una concentrazione di **249 mg/L**, confermando la capacità del metodo di quantificare accuratamente alti dosaggi tipici di energy drink e formulazioni speciali.
- Nel **Campione F** (Cola), il valore rilevato è stato di **65 mg/L**, coerente con le formulazioni standard di questa categoria.

Sensibilità all'Alcol e Stabilità Data la crescita delle bevande *Low e No-Alcohol*, la sensibilità analitica è risultata cruciale. Il metodo ha permesso di quantificare l'alcol fino a **0,002% vol** in circa 10 minuti.

- I campioni analcolici (A, B, E, F, I) hanno mostrato valori < 0,002% vol, confermando l'assenza di fermentazioni in atto.
- I campioni a base vino (C, D, G, H) hanno mostrato valori compresi tra 7,2% e 9,5% vol, dimostrando la versatilità del sistema su diversi range di concentrazione.

Profilo degli Acidi e pH Lo studio ha evidenziato una marcata differenziazione nei profili acidimetrici, correlando la composizione chimica alla stabilità del prodotto.

- Cola (Campione F):** È stata rilevata la presenza esclusiva di acido fosforico (**886 mg/L**), coerente con il suo uso tipico come agente acidificante primario in questa categoria di bevande.
- Soda agli Agrumi (Campioni E, I):** Hanno mostrato un'acidità dominata dall'acido citrico (rispettivamente **3,3 g/L** e **6,3 g/L**) e un pH basso (range **3,49–3,58**), coerente con i requisiti di stabilità microbiologica e freschezza sensoriale.

5. Analisi Comparativa: Metodiche Ufficiali vs CDR DrinkLab

Sebbene le tecniche cromatografiche (HPLC, GC) rappresentino il *gold standard* normativo, la loro implementazione nel controllo qualità routinario presenta significative limitazioni operative in termini di costi e tempi. Il confronto diretto tra i metodi di riferimento e il sistema CDR DrinkLab evidenzia come l'approccio fotometrico risponda meglio alle esigenze di monitoraggio frequente in impianto.

Per la determinazione della caffeina, il metodo ufficiale HPLC richiede strumentazione costosa, personale altamente specializzato e lunghi tempi di corsa cromatografica; al contrario, il metodo fotometrico permette una quantificazione rapida senza l'uso di solventi tossici, rendendo l'analisi accessibile anche a operatori non specializzati. Analogamente, per la determinazione del grado alcolico e degli zuccheri, dove i metodi classici (Distillazione, Gascromatografia, HPLC-RI) comportano procedure laboriose, il sistema testato offre risultati comparabili in circa 10 minuti, con una preparazione del campione limitata al semplice degassaggio.

Di seguito si riporta una tabella di sintesi che mette a confronto i benefit operativi del sistema CDR DrinkLab rispetto alle metodiche analitiche tradizionali:

| | Metodo di Riferimento (Ufficiale) | Criticità Metodo Ufficiale | Approccio CDR DrinkLab | Benefit Operativi CDR |
|---------------|--|--|-------------------------------|--|
| Caffeina | HPLC (Cromatografia Liquida) | Alti costi strumentali, personale specializzato, tempi lunghi. | Fotometrico | Analisi rapida, nessuna calibrazione complessa, uso in linea. |
| Alcol (% vol) | Distillazione / Gascromatografia (GC) | Procedura complessa, tempi estesi per singola analisi. | Fotometrico Enzimatico | Risultato in 10 min, sensibilità fino a 0.002% vol, ideale per Low-Alcohol. |
| Zuccheri | HPLC con Rivelatore RI | Costo elevato, manutenzione frequente, tempi di equilibrio colonna. | Fotometrico Enzimatico | Quantificazione rapida di glucosio, fruttosio e saccarosio per controllo fermentativo. |
| Workflow | Preparazione Campione Classica | Filtrazioni complesse, estrazioni con solventi, grandi volumi richiesti. | Micro-metodica | Semplice degassaggio, micro-volumi di campione, reagenti prefialati. |

6. Conclusioni

I risultati analitici ottenuti in questo studio confermano l'importanza di un approccio completo e flessibile al controllo qualità nel moderno settore delle bevande analcoliche e dei prodotti pronti all'uso. L'ampia variabilità delle formulazioni, che spazia dalle bevande ad alto contenuto di caffeina alle bibite gassate a base di agrumi e ai prodotti a basso contenuto di alcol o analcolici, richiede metodi analitici rapidi, sensibili e affidabili.

CDR DrinkLab si è dimostrato idoneo per la determinazione di parametri chiave come caffeina, contenuto alcolico, profilo acidimetrico (acido citrico, acido fosforico), zuccheri e pH, con una preparazione minima del campione e tempi di analisi brevi.

Questo approccio supporta il monitoraggio di routine, la conformità normativa e la valutazione della stabilità del prodotto, consentendo ai produttori di mantenere una qualità costante e di rispondere efficacemente alle mutevoli esigenze del mercato delle bevande analcoliche.

References:

Emmins, D. (2025). The History of Soft Drinks. Everything Everywhere. Disponibile su: <https://everything-everywhere.com/the-history-of-soft-drinks/>

UNESDA. (2024). Soft drink consumption per capita EU 2010-2023. Statista. Disponibile su: <https://www.statista.com/statistics/620186/soft-drink-consumption-in-the-european-union-per-capita/>

Food Research Lab. (2025). Difference in FDA and EU Caffeine regulations in energy drinks. Food Research Lab. Disponibile su: <https://www.foodresearchlab.com/insights/regulation-updates/fda-and-eu-regulations-on-caffeine-recommendations-in-energy-drinks/>

Naegle, E. (2011). Determination of Caffeine in Coffee Products According to DIN 20481. Agilent Technologies. Disponibile su: <https://www.agilent.com/cs/library/applications/5991-2851EN.pdf>

Food Compliance International. (2025). Low and no alcohol beer in the EU: status and legal challenges. Food Compliance International. Disponibile su: <https://foodcomplianceinternational.com/industry-insight/scholarly-articles/3255-low-and-no-alcohol-beer-in-the-eu-status-and-legal-challenges>