

Valutazione del cioccolato con spettroscopia Raman

Controllo rapido della qualità di diversi tipi di cioccolato

Nel 2024, il mercato globale del cioccolato era valutato a circa 131 miliardi di dollari. Si prevede che raggiungerà circa 173 miliardi di dollari entro il 2030, il che implica un tasso di crescita costante di circa il 4% [1]. Questa crescita è trainata dalla domanda sostenuta dei consumatori e si prevede che continuerà a crescere.

La spettroscopia è sempre più utilizzata nella produzione del cioccolato per il controllo qualità (QC), grazie alla sua capacità di valutare la composizione del cioccolato, fornendo uno spettro "impronta

digitale" che ne rivela i dettagli chimici. In particolare, la spettroscopia Raman può essere utilizzata nel QC per distinguere i diversi tipi di cioccolato, rilevare adulterazioni, misurare la cristallizzazione e la consistenza e monitorare il processo di produzione.

Questa Application Note descrive le tecniche per raccogliere in modo efficace gli spettri Raman da vari tipi di cioccolato, fornendo una base per la valutazione della qualità e il rilevamento delle adulterazioni.

Gli spettri Raman delle barrette di cioccolato con diverso contenuto di cacao, incluso il cioccolato bianco (Lindt, Svizzera), sono stati misurati a una bassa potenza laser (5%) e a un lungo tempo di integrazione (120 s) (Figura 1).

I tipi specifici di campioni di cioccolato utilizzati in questo studio sono riassunti nella Tabella 1. La potenza del laser è stata regolata in base al contenuto di cacao del cioccolato (che variava da bianco al 100%), senza superare il 15%, a meno che non si desiderasse la misurazione del cioccolato fuso.

Tabella 1. Campioni e picchi Raman importanti.

Campione	% Cacao
Cioccolato (vari tipi)	100%
	85%
	70%
	Milk (~30%)
	White (20%)

PANORAMICA SPERIMENTALE

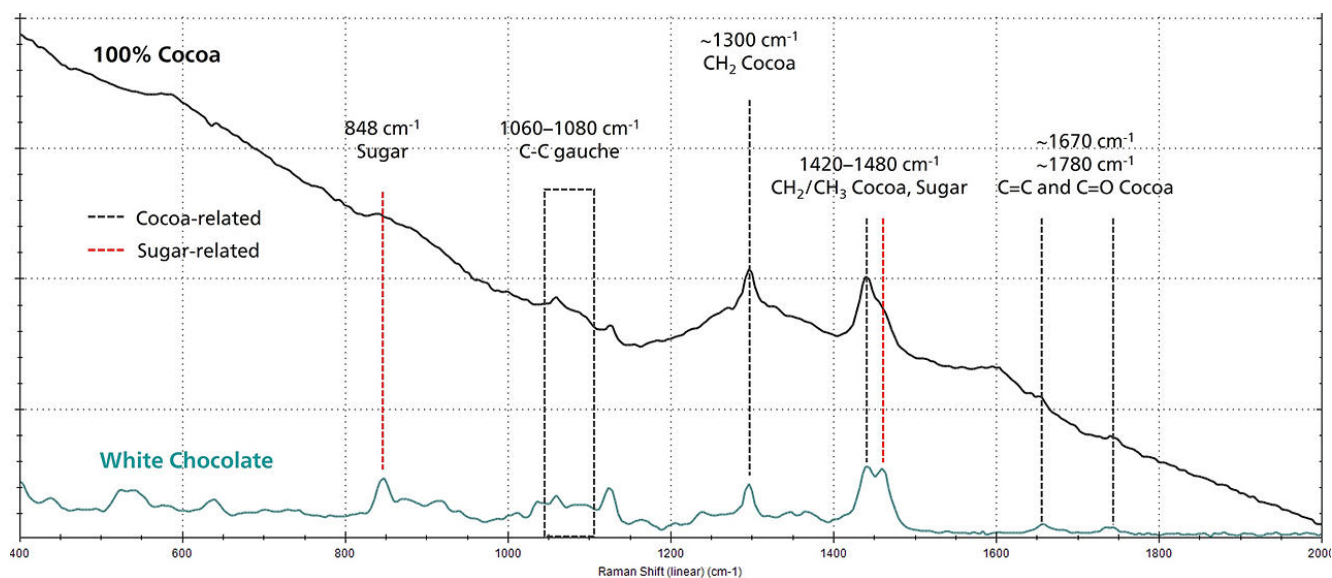


Figure 1. Spettri Raman rappresentativi del 100% cacao e del cioccolato bianco (nessun trattamento matematico).

Tabella 2. Elenco dei picchi importanti mostrati in Figura 1.*

Relazione	Numero d'onda (cm ⁻¹)
Legato al cacao	1060–1080
	~1300
	1420–1480
	~1670, ~1780
Relativo allo zucchero	<750, 848
	1460

METODO

La raccolta dei dati Raman con un sistema Raman da laboratorio i-Raman NxG 1064 (**Figura 2**) è stata ottimizzata regolando il tempo di integrazione e la potenza del laser (**Tabella 3**) per determinare le condizioni migliori per massimizzare la potenza del segnale e ridurre al minimo il rischio di fusione del campione.



Figure 2. In questo studio sono stati utilizzati lo strumento i-Raman NxG 1064 e la sonda in fibra ottica montata di Metrohm.

Tabella 3. Impostazioni di sistema utilizzate per l'analisi di diversi tipi di cioccolato mediante spettroscopia Raman.

Lunghezza d'onda di eccitazione	1064 nm
Potenza del laser	5–15%
Tempo di integrazione	>60 s
Accessori	Standard Sampling Probe Probe Holder with distance regulator
Software	SpecSuite

Tutti i campioni di cioccolato sono stati analizzati posizionando un pezzo di cioccolato sul tavolo con una sonda Raman saldamente fissata sopra il campione (**Figura 3**). La distanza di lavoro ottimale è stata determinata regolando la posizione della sonda sull'asse z, monitorando costantemente l'intensità del segnale Raman.

Una volta individuata la distanza focale ottimale, un regolatore di distanza aiuta l'operatore a posizionare la sonda sul campione per garantire una misurazione coerente e affidabile.

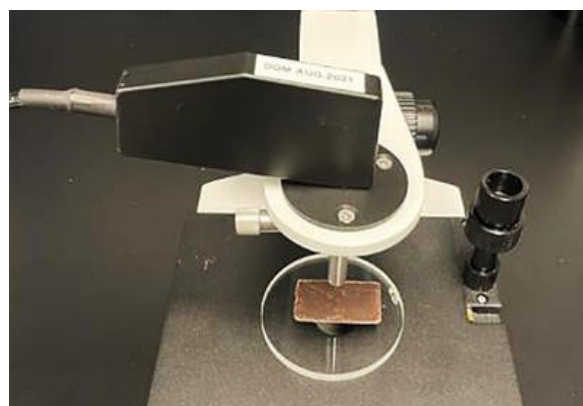


Figure 3. Un campione di cioccolato sul portasonda.

RISULTATI

Intensità laser e fusione

Il cioccolato fonde tra 30 e 36 °C. Per stabilire la soglia di fusione indotta dal laser è stato utilizzato cioccolato al 100%, grazie al suo colore più scuro. Il campione più scuro assorbe più luce laser e, di conseguenza, fonde a potenze inferiori e con tempi di esposizione più brevi.

L'ottimizzazione della potenza del laser è fondamentale per prevenire danni termici o alterazioni strutturali durante la misurazione. Gli spettri Raman raccolti al 5%, 10% e 15% di potenza laser hanno rivelato notevoli variazioni nei picchi correlati al cacao (Figura 4a), con una fusione visibile al 10%. I cioccolati di colore più chiaro hanno tollerato potenze più elevate, generalmente fino al 15%.

Tuttavia, la fusione non è l'unico indicatore di cambiamenti strutturali indotti dal calore. Anche il cioccolato bianco ha mostrato lievi variazioni di cristallinità nell'intervallo 1060-1100 cm^{-1} quando la potenza del laser superava il 10% (Figura 4b). Questi risultati evidenziano che il cioccolato può subire alterazioni termiche a potenze laser relativamente basse, sottolineando la necessità di un'attenta selezione della potenza durante il controllo qualità (QA/QC). I metodi di rilevazione della fluorescenza combinati con l'eccitazione a 785 nm a bassa potenza offrono potenziali soluzioni.

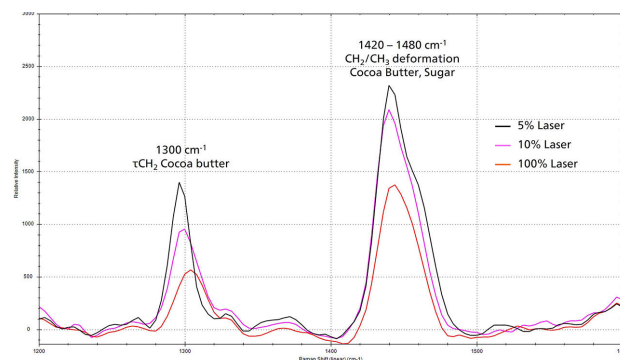


Figure 4a. Vista ravvicinata dei picchi Raman del cioccolato al 100% misurati con laser a 1064 nm al 5%, 10% e 15% di potenza laser.

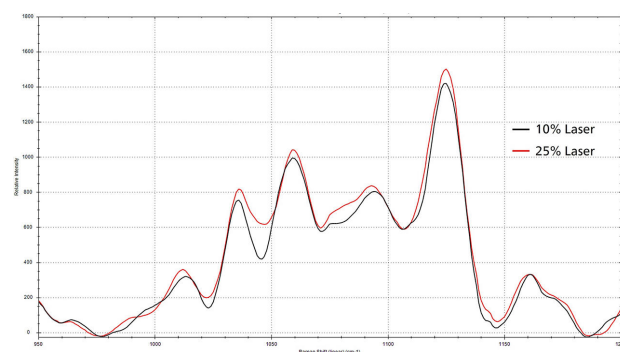


Figure 4b. La regione di estensione della catena gauche del cioccolato bianco è stata misurata con una potenza laser del 10% e del 25%, dimostrando la differenza tra le potenze laser.

Il cioccolato è generalmente composto da tre componenti principali: cacao, burro di cacao e zucchero, in proporzioni significativamente diverse a seconda del tipo di cioccolato. Ad esempio, il cioccolato 100% non contiene zuccheri aggiunti, mentre il cioccolato bianco è privo di cacao, ma contiene burro di cacao. Le altre varietà si collocano tra questi estremi, con un diverso contenuto di cacao e zucchero (Tabella 4).

Tabella 4. Contenuto di cacao e zucchero nei diversi tipi di cioccolato.

Tipo Cioccolato	Cacao (%)*	Zucchero (g)**
Bianco	20	16
Al latte	31	17
70%	70	9
85%	85	4
100%	100	0

I picchi principali di zucchero sono chiaramente osservati nei cioccolati bianco, al latte e al 70% (Figura 5). Tuttavia, nel cioccolato all'85%, l'unica caratteristica spettrale evidente correlata allo zucchero appare a 1460 cm⁻¹. Ciò suggerisce che la tecnica Raman determini efficacemente il contenuto di zucchero per le misurazioni di controllo qualità. Gli ingredienti correlati al cacao presentano bande Raman caratteristiche intorno a 1300 cm⁻¹ e 1420–1480 cm⁻¹. Limitando un modello ai minimi quadrati parziali (PLS) a queste regioni spettrali si è ottenuto il modello predittivo più accurato per l'analisi del contenuto di cacao.

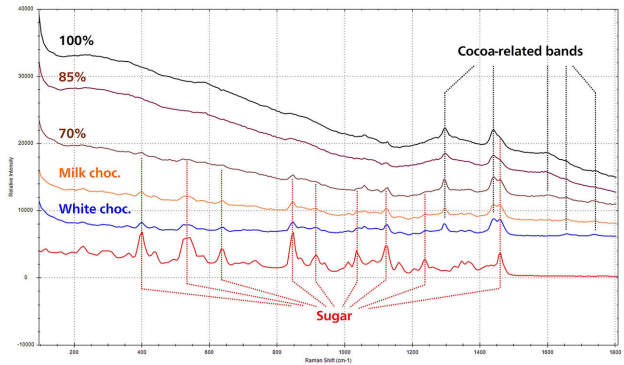


Figure 5. Spettri Raman di cacao al 100%, cacao all'85%, cacao al 70%, cioccolato al latte, cioccolato bianco e zucchero. Metodo di raccolta dati: potenza laser 5%, tempo di integrazione 120 s, media 3.

Prestazioni del modello PLS e accuratezza predittiva

I modelli PLS costruiti a partire da picchi chiave tra 1200 e 1600 cm^{-1} negli spettri Raman di vari tipi di cioccolato mostrano una forte concordanza tra il contenuto di cacao previsto e quello misurato, con un basso errore standard. Ciò conferma l'efficacia della spettroscopia Raman per l'analisi di routine del contenuto di cacao (Figura 6a). L'aggiunta di punti dati aumenterebbe l'affidabilità delle previsioni a livelli di cacao più elevati.

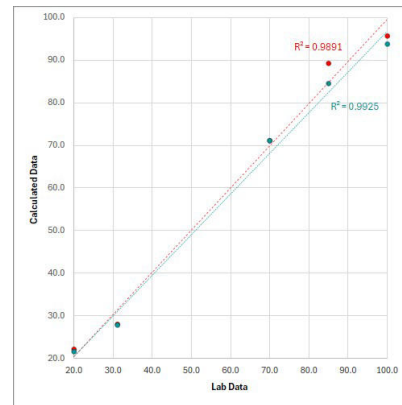


Figure 6a. Modello di calibrazione PLS e statistiche del modello di solidi di cacao e burro di cacao.

Il modello del contenuto di zucchero dimostra un'accuratezza predittiva ancora maggiore, attribuibile a picchi di zucchero distinti e all'assenza di variazioni legate alla temperatura nelle misurazioni dello zucchero. I dati sullo zucchero possono anche affinare le previsioni del contenuto correlato al cacao, poiché l'intensità Raman dello zucchero varia proporzionalmente al contenuto di cacao (Figura 6b). Sia lo zucchero che il contenuto di cacao sono importanti parametri di controllo qualità misurabili tramite spettroscopia Raman.

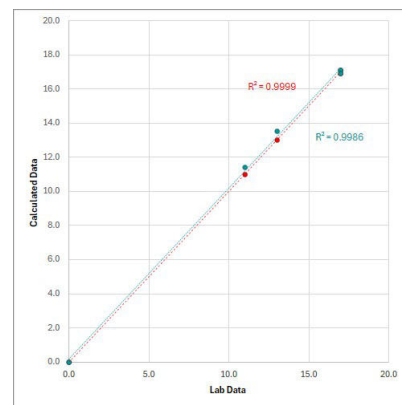


Figure 6b. Modello di calibrazione PLS e statistiche del modello del contenuto di zucchero in diversi campioni.

CONCLUSIONE

Questo studio evidenzia la capacità della spettroscopia Raman di effettuare misurazioni rapide e non distruttive degli indicatori di qualità del cioccolato. I modelli PLS dimostrano un'elevata accuratezza predittiva sia per i materiali correlati al cacao che per il contenuto di zucchero. L'aumento del numero di campioni e il test di una gamma più ampia

di tipi di cioccolato migliorerebbero ulteriormente la robustezza e l'accuratezza del modello.

Nel complesso, la spettroscopia Raman, combinata con la modellazione chemiometrica, offre un metodo di controllo qualità affidabile per l'analisi del cioccolato di routine e in tempo reale.

RIFERIMENTI

1. marknteladvisors. *Chocolate Market Size, Share, Analysis and Industry Trend to 2030*.
2. Esmonde-White, K.; Lewis, M.; Lewis, I. R. Direct Measurement of Chocolate Components Using Dispersive Raman Spectroscopy at 1000 Nm Excitation. *Appl Spectrosc* **2023**, 77 (3), 320–326.
<https://doi.org/10.1177/0003702822114794>
3. *Chocolates, Truffles, and Delicious Gifts: Buy Online | Lindt Shop Intl.*
<https://www.chocolate.lindt.com/> (accessed 2025-08-17).

CONTACT

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

info@metrohm.it

CONFIGURAZIONE



i-Raman NxG 1064

L'i-Raman NxG 1064 è uno spettrometro Raman ad alte prestazioni progettato appositamente per i tipi di campione più difficili e complessi. Dotato di un laser da 1064 nm e di un ampio intervallo spettrale di 100–2500 cm^{-1} , eccelle nella riduzione drastica delle interferenze di fluorescenza, rendendolo ideale per l'analisi di prodotti altamente fluorescenti, dai colori vivaci o naturali che risultano problematici per i sistemi Raman convenzionali.

Questa capacità avanzata consente misure rapide e accurate, anche con campioni impegnativi spesso presenti nei settori farmaceutico, nutraceutico e petrolifero. La sua configurazione versatile, che include la possibilità di eseguire misure attraverso contenitori opachi, offre risultati eccellenti nei rigorosi processi di controllo di qualità in cui è essenziale sopprimere la fluorescenza.

L'i-Raman NxG 1064 è la scelta preferita per utenti che richiedono un'analisi Raman affidabile, priva di fluorescenza su campioni di controllo di qualità difficili da analizzare.

Scoprite come questo laser vicino all'infrarosso vi aiuta a effettuare le misure di controllo di qualità più complesse:

- spettrometri ad alta sensibilità forniscono risultati nel giro di secondi e sono in grado di rilevare i segnali Raman più deboli.
- Il laser near-IR misura con facilità campioni estremamente colorati e scuri.
- Sonda con conduttore ottico flessibile compatibile con un'ampia gamma di accessori, tra cui un supporto per vial, un supporto per cuvette, una sonda a immersione e un adattatore ST per la visualizzazione attraverso gli strati.
- Potente software SpecSuite per una facile raccolta dei dati Raman oltre a una costruzione di modelli quantitativi, l'identificazione con librerie spettrali e analisi di routine.
- Compatto e impilabile per salvare spazio prezioso sul banco.



Supporto universale per sonda Raman

Supporto per sonda per l'utilizzo con sonde Raman da laboratorio Metrohm, inclusi gli steli da laboratorio, gli steli da immersione industriali e gli steli trasparenti. Con possibilità di eseguire regolazioni XYZ grossolane e precise.