

Imaging iperspettrale per il monitoraggio nutrizionale della vite

Introduzione

La qualità del vino dipende in larga parte dallo stato di salute delle viti. Tra i fattori più importanti vi sono i macro e micronutrienti (i.e. calcio, potassio, manganese, ferro, rame e zinco) presenti nelle foglie. Carenze o eccessi di questi elementi influiscono sul vigore della pianta, sulla resa e sulla qualità delle uve, con effetti diretti sulle caratteristiche organolettiche del vino. L'imaging iperspettrale (HSI), basata sulla spettroscopia combinata con l'acquisizione di immagini, rappresenta una tecnologia innovativa capace di valutare in modo rapido, non invasivo e non distruttivo lo stato nutrizionale delle foglie. Applicata in ambito vitivinicolo, può offrire un supporto alla gestione di precisione delle pratiche agronomiche e alla valorizzazione delle produzioni DOP e IGP.

Metodologia

Lo studio è stato condotto a scala laboratorio confrontando due sistemi di imaging iperspettrale operanti nell'infrarosso a onde corte (Short-Wave Infrared, SWIR: 1000–1700 nm), un sistema da banco (Sisuchema XL, Specim, Finlandia) e un sistema portatile (HERA SWIR, Nireos, Italia). Sono stati analizzati campioni di foglie di vite essiccate e macinate, provenienti da aziende vitivinicole toscane. Le acquisizioni di imaging iperspettrale (HSI) sono state affiancate da analisi di fluorescenza a raggi X a scala

microscopica (micro-XRF) sugli stessi campioni, in grado di fornire dati di riferimento sulla concentrazione effettiva di elementi come magnesio (Mg), silicio (Si), fosforo (P), zolfo (S), potassio (K), calcio (Ca), titanio (Ti), manganese (Mn), ferro (Fe), rame (Cu), zinco (Zn) e stronzio (Sr). I dati spettrali sono stati elaborati con metodi chemometrici, come l'analisi delle componenti principali (Principal Component Analysis, PCA), verificando la comparabilità tra le firme spettrali registrate dai due sistemi e la correlazione con le analisi elementari. Sono stati inoltre impiegati metodi di regressione (i.e. Ensemble Regression) e applicato un trasferimento di calibrazione per rendere confrontabili i risultati dei due strumenti.

Risultati e conclusioni

L'analisi ha mostrato come le mappe iperspettrali ottenute in laboratorio possano evidenziare differenze nei nutrienti delle foglie di vite, distinguendo campioni provenienti da diverse aree di produzione. I risultati hanno confermato come lo strumento portatile, dopo adeguate correzioni e calibrazioni, possa fornire risposte spettrali comparabili al sistema da banco. La correlazione con i dati micro-XRF ha validato l'affidabilità dei modelli predittivi sviluppati, dimostrando la possibilità di stimare contenuti elementari a partire dalle sole acquisizioni spettrali. Lo studio costituisce un passo importante per l'adozione futura di tecniche iperspettrali in campo (**Figura 1**).

Applicazioni

Serve alle aziende vitivinicole per monitorare nutrienti fogliari con strumenti portatili, ottimizzare fertilizzazione, migliorare qualità delle uve, ridurre costi analitici e supportare decisioni agronomiche sostenibili.

Autori

G. Bonifazi, G. Capobianco, S. Serranti

Ente di appartenenza



Figura 1. Sistema portatile di imaging iperspettrale SWIR





Spettroscopia Raman per l'identificazione rapida di clostridi nel latte

Introduzione

I clostridi sono batteri anaerobi noti per la loro produzione di gas che causa i difetti di gonfiore tardivo nel formaggio stagionato e possono contaminare il latte sotto forma di spore. L'identificazione rapida della loro contaminazione è di primaria importanza sia per evitare di produrre formaggio stagionato con il latte contaminato, sia perché questo potrebbe essere usato per formaggi freschi senza causarne difetti. I metodi di rilevazione microbiologici per *Clostridium* mancano di selettività in quanto possono rilevare la presenza anche di altri batteri sporigeni quali *Bacillus*, mentre i metodi di conferma molecolari richiedono personale altamente qualificato. Per questo motivo il progetto ha lo scopo di sviluppare uno strumento da banco utile a trovarne la presenza in maniera specifica e veloce, senza richiedere ulteriori competenze agli operatori.

Metodologia

Il metodo proposto si basa sul metodo MPN (Most Probable Number) largamente utilizzato per la determinazione delle spore di *Clostridium* in latte. Dato il numero di fiale, il volume di latte in ogni fiala e il numero di fiale positive si può calcolare il numero più probabile di spore/litro del campione in esame. L'innovazione sta nel misurare l'idrogeno nello spazio di testa delle fiale dato che questa molecola è prodotta esclusivamente dai clostridi, permettendo una

misura quindi specifica. Per misurare l'idrogeno si utilizza la spettroscopia Raman, tecnica non invasiva che permette di risalire alla composizione chimica dei gas nello spazio di testa. Lo strumento è composto da un laser, il cui fascio attraversa la fiala e uno spettrometro che serve per dividere la luce diffusa nelle sue lunghezze d'onda (colori) e da questo si riesce a risalire alla presenza o meno di clostridi nel latte dentro la fiala. Nel pratico viene preparato un batch di 6 o 9 fiale contenenti latte, brodo di coltura (Reinforced Clostridial Medium, RCM) e olio di vaselina, questo viene messo nello strumento che analizza le fiale in modo automatico, determinando infine il più probabile numero di spore nel campione, espresso comunemente come MPN/L. Data la natura più universale dello strumento sviluppato, anche la presenza di batteri che non producono idrogeno, come ad esempio il genere *Bacillus* che può produrre CO₂, viene identificata.

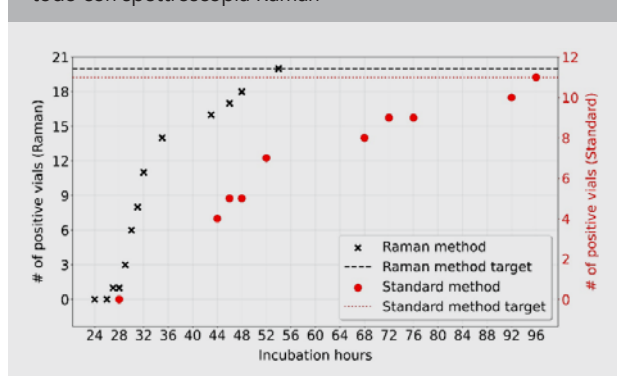
Risultati e conclusioni

Dal test condotto per confrontare il metodo MPN standard e quello assistito da spettroscopia Raman si è dimostrato che lo strumento permette di rilevare in circa metà del tempo la prima fiala positiva e di concludere l'intera campagna allo stesso modo. Lo strumento è stato inoltre reso trasportabile per poter operare nel campo di applicazione aspettato.

Applicazioni

Serve alle aziende per accelerare i controlli microbiologici, dimezzare i tempi di analisi, utilizzare strumenti portatili in campo e migliorare efficienza, sicurezza e qualità produttiva.

Figura 1. Test di confronto tra metodo MPN standard e metodo con spettroscopia Raman



Autori

D. Barbiero, F. Melison, L. Cocola, M. Fedel, C. Andrighetto, P. De Dea, L. Poletto

Enti di appartenenza





Valutazione qualitativa del latte crudo tramite spettroscopia Raman non distruttiva

Introduzione

La spettroscopia Raman si è affermata come uno strumento potente e non distruttivo per valutare la qualità e l'autenticità dei prodotti lattiero-caseari, in particolare del latte fresco proveniente da diverse fonti. Evidenziando le "fingerprints" molecolari nel range spettrale di analisi da 200-2000 cm^{-1} , tale tecnica consente l'identificazione della composizione chimica del latte e la rilevazione di adulteranti, offrendo vantaggi significativi come tempi di analisi più brevi, costi ridotti e una preparazione minima o nulla del campione. Combinata con l'analisi statistica multivariata, la spettroscopia Raman rappresenta una soluzione promettente per l'autenticazione del latte e il controllo della qualità lungo tutta la filiera lattiero-casearia.

Metodologia

Nel presente lavoro è stato utilizzato un sistema di spettroscopia Raman portatile (i-Raman, B&W TEK Inc.) con laser a 785 nm e sonda a fibra ottica per analizzare campioni di latte crudo di mucca e pecora, raccolti dopo 24 e 72 ore di mungitura in stabulazione fissa. L'obiettivo è quello di confrontare gli spettri Raman dei diversi tipi di latte, evidenziandone caratteristiche comuni e distintive. I campioni, freschi sono stati analizzati immergendo la sonda in 60 ml di latte a temperatura ambiente (**Figura 1**). Le misure (10

per campione) sono state effettuate con laser a 70 mW per 50 s, nel range 200–3000 cm^{-1} , garantendo dati affidabili e riproducibili. Lo studio conferma il potenziale della spettroscopia Raman per il controllo qualità del latte.

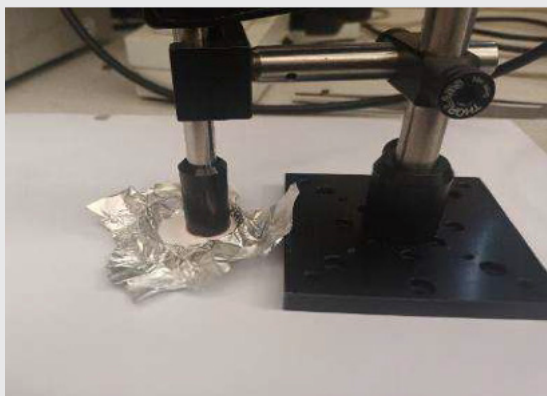
Risultati e conclusioni

I risultati ottenuti evidenziano lievi differenze spettrali tra i campioni di latte fresco vaccino e ovino. In tutti i campioni sono state rilevate bande caratteristiche a 870, 1076, 1296-1300, 1440, 1650, 1744 e 2800-2900 cm^{-1} , con variazioni evidenti nell'intensità e nella forma associate ai principali componenti del latte: lipidi, proteine e lattosio. Nonostante le variazioni osservate, la distinzione visiva tra i campioni basata solo sugli spettri è risultata difficile e soggettiva. Per interpretare meglio tali differenze e distinguere i campioni in base alla specie animale di origine, è stata applicata l'Analisi delle Componenti Principali (PCA), che ha mostrato come i campioni di latte ovino (in rosso) tendono a raggrupparsi in una regione distinta dello spazio delle componenti principali rispetto ai campioni di latte bovino (in blu), evidenziando che la spettroscopia Raman, combinata con PCA, consente di discriminare il latte in base alla specie di origine.

Applicazioni

Serve alle aziende per accelerare i controlli microbiologici, dimezzare i tempi di analisi, utilizzare strumenti portatili in campo e migliorare efficienza, sicurezza e qualità produttiva.

Figura 1. Esempio di sonda laser immersa nel campione



Autori

I. Petrignani, S. Almaviva, A. Lai

Ente di appartenenza





Analisi del DNA a tutela della filiera olearia e vitivinicola

Introduzione

La tracciabilità genetica di prodotti identitari del Made in Italy, come olio e vino, è cruciale per garantirne l'autenticità varietale e tutelare le denominazioni d'origine. I metodi tradizionali, basati su caratteristiche visibili, sono spesso imprecisi perché influenzati da fattori ambientali. I marcatori molecolari, come i microsatelliti (SSR), permettono una caratterizzazione più accurata, grazie alla loro affidabilità. Inoltre, l'identificazione di varianti genetiche specifiche (alleli privati) consente di risalire alla zona geografica delle cultivar. Tuttavia, il DNA estratto da matrici come olio e vino è spesso degradato e contiene inibitori che ostacolano le analisi. È quindi essenziale ottimizzare i protocolli di estrazione per ottenere DNA idoneo alle fasi analitiche.

Metodologia

Nei nostri laboratori sono stati utilizzati protocolli di estrazione basati su una soluzione contenente CTAB (una sostanza detergente) e l'esano (un solvente) per ottenere DNA da campioni di olio, vino/mosto. Per foglie e olive, è possibile utilizzare dei sistemi di estrazione diretti che semplificano e velocizzano le analisi. Dopo avere valutato qualità e quantità del DNA mediante spettrofotometro, si è proceduto alla

“genotipizzazione” tramite PCR usando set di marcatori SSR specifici per l'olivo e la vite. I profili genetici ottenuti sono stati confrontati con quelli delle cultivar più comuni utilizzate nella produzione di olio e vino. Infine, l'analisi degli “alleli privati” ha verificato la corrispondenza tra le varietà dichiarate e quelle effettivamente presenti (**Figura 1**).

Risultati e conclusioni

Il protocollo CTAB-esano ha permesso di ottenere DNA di alta qualità da olio e vino, rimuovendo le sostanze che interferiscono con le analisi. Questo ha permesso l'amplificazione dei marcatori genetici e la generazione di profili allelici chiari per ogni campione analizzato. Il confronto un database contenente oltre 1.000 genotipi di olivo e vite, sia nazionali e internazionali, ha permesso di identificare le varietà impiegate nella produzione. La presenza di alleli privati ha permesso di determinare l'origine geografica dei prodotti, e le analisi filogenetiche hanno mostrato raggruppamenti coerenti con le aree di provenienza. L'integrazione tra marcatori genetici e protocolli d'estrazione adeguati costituisce un metodo affidabile per la tracciabilità genetica e geografica, utile nella prevenzione delle frodi alimentari.

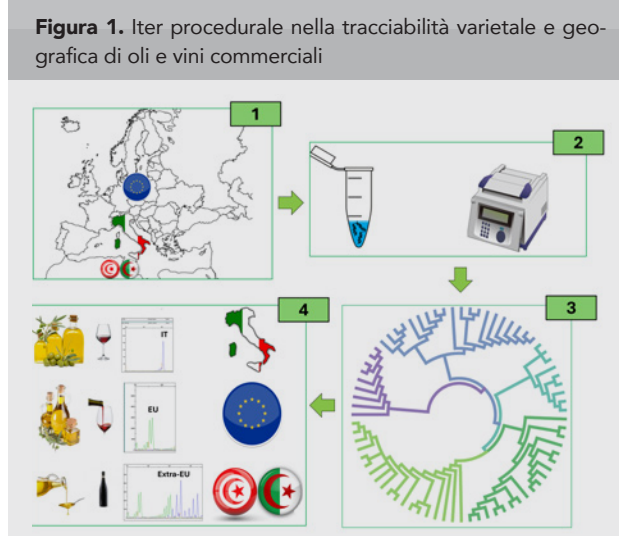
Applicazioni

Serve alle aziende per garantire tracciabilità genetica e geografica di olio e vino, prevenire frodi alimentari, certificare varietà utilizzate e valorizzare origine territoriale sui mercati.

Autori

M. A. Savoia, I. Mascio, M. M. Miazzi, V. Fanelli, M. Dellino, L. Piarulli, C. Montemurro, V. Conti, S. Parri, P. Salusti, M. Romi, G. Cai

Enti di appartenenza



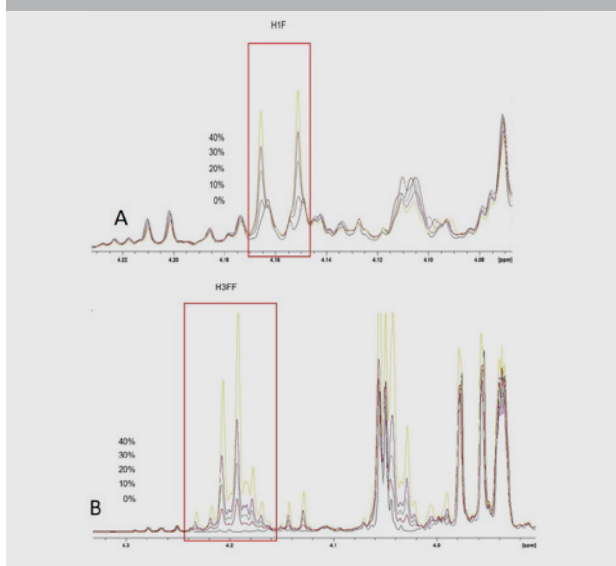


Il ruolo della risonanza magnetica nucleare per la qualità del miele

Introduzione

Il miele rappresenta un alimento ricco di energia (mediamente 100 grammi di miele sviluppano 304 Kcal), prodotto dalle api (*Apis Mellifera*) dal nettare delle piante o dalle secrezioni provenienti da parti vive di piante. La sua composizione è costituita per il 95% del peso secco da zuccheri, principalmente fruttosio e glucosio che rappresentano circa il 32-44% e 23-38% rispettivamente e in quantità minore, sono stati identificati 45 zuccheri diversi (monosaccaridi, disaccaridi, trisaccaridi e polissaccaridi). Le proprietà nutraceutiche del miele sono dovute alla presenza di flavonoidi e polifenoli che hanno importanti proprietà antiinfiammatorie, antiossidanti, antitumorali, antibatteriche e immunomodulatorie. Le diverse varietà botaniche di miele, presentano una diversa distribuzione di zuccheri dovuta anche alla stagionalità ed all'origine geografica. La composizione di zuccheri, permette di caratterizzare la diversa origine botanica, geografica e valutare la presenza di frodi, come l'aggiunta di zuccheri esogeni.

Figura 1. Particolare dello spettro ^1H NMR di miele di castagno adulterato con percentuali dal 10% al 40% con A) inulina B) sciroppo di zucchero invertito. Sono indicati nel quadrato rosso i segnali caratteristici degli adulteranti aggiunti



Metodologia

Il campione di miele da analizzare viene solubilizzato in acqua (ca 0.16 g/ml), e successivamente sottoposto all'analisi NMR in alta risoluzione. Viene registrato uno spettro protonico (^1H NMR) a temperatura ambiente in modalità quantitativa. Lo spettro NMR viene successivamente processato utilizzando due approcci: a) suddiviso in piccoli intervalli (di ca 12 Hz) ed analizzato mediante dei protocolli di analisi statistica multivariata b) vengono integrati segnali specifici di adulteranti saccaridici (inulina, mais/malto, zucchero invertito) per identificare la presenza di zuccheri aggiunti.

Risultati e conclusioni

Nell'ambito del progetto PNRR AGRITECH sono stati analizzati 182 campioni di miele di diverse varietà botaniche e di diverse origini geografiche (regioni italiane). Le informazioni contenute nello spettro NMR sono state analizzate mediante protocolli di analisi statistica multivariata (PCA, PLS-DA, OPLS-DA). Per le regioni ove era presente una numerosità di campioni statisticamente significativa, è stato possibile a parità di origine botanica, differenziare la provenienza dei mieli, confrontando a coppie le regioni. Sono stati ottenuti ottimi risultati per 6 regioni (Lombardia, Sicilia, Piemonte, Emilia Romagna, Umbria, Veneto). Inoltre è stata pubblicata una norma UNI (UNI 11972/2025) che indica la procedura per rilevare e quantificare alcuni adulteranti saccaridici nel miele, e un esempio è riportato in **Figura 1**.

Applicazioni

Serve alle aziende per garantire autenticità e tracciabilità del miele, individuare frodi zuccherine, valorizzare origine botanica e geografica, tutelare qualità, competitività e fiducia dei consumatori.

Autori

R. Consonni, D. Iannone, L.R. Cagliani

Ente di appartenenza



Risonanza magnetica nucleare per la qualità dello zafferano

Introduzione

Lo zafferano è ottenuto dagli stigmi essiccati dei fiori del *Crocus sativus* L., pianta appartenente alla famiglia delle Iridaceae. Dai fiori, raccolti manualmente, vengono separati gli stigmi, che vengono lasciati essiccare con diverse procedure. Il primo produttore mondiale di zafferano è l'Iran, altri Paesi produttori sono Grecia, Marocco, Spagna, India ed Italia. Lo zafferano viene utilizzato in cucina, in cosmesi ed in medicina (ad oggi sono note le sue attività antiossidanti nella cura delle patologie retiniche). La qualità dello zafferano, e quindi il suo valore commerciale, sono determinati dalle specifiche descritte nella norma ISO 3632/1,2 che lo classifica in tre categorie commerciali, dalla I alla III, indicando con la classe I il prodotto di migliore qualità. La norma è basata sull'uso della spettrofotometria UV che quantifica i tre metaboliti caratteristici: crocine (potere colorante), picrocrocina (potere amaricante) e safranale (potere aromatico). La spettrofotometria presenta però delle limitazioni, infatti, non è efficace nel contrastare le frodi attuate sul prodotto mediante l'aggiunta di coloranti idrofobici e bioadulteranti.

Metodologia

Si utilizzano ca 4 mg di zafferano in polvere sciolti completamente in solvente organico. Il campione viene sottoposto ad analisi NMR in alta risoluzione per ottenere uno spettro ^1H NMR in modalità quantitativa. In questo modo per ogni campione di zafferano si ha un fingerprint che permette di

quantificare la presenza dei metaboliti caratteristici. Gli spettri NMR ottenuti vengono poi opportunamente processati, suddivisi in piccoli intervalli, ed i dati ottenuti sottoposti a protocolli di analisi statistica multivariata.

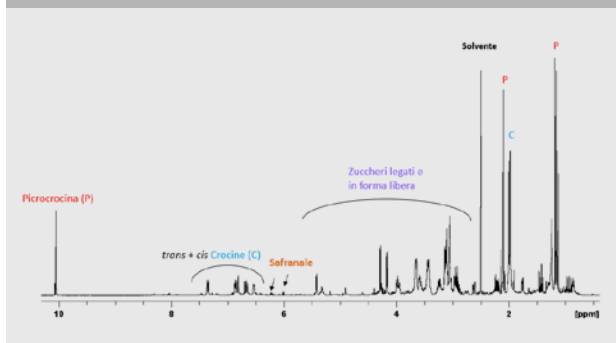
Risultati e conclusioni

Nel corso di due anni di progetto PNRR AGRITECH sono stati analizzati 138 campioni di zafferano italiano provenienti da 17 regioni. Utilizzando tutte le informazioni contenute nello spettro protonico NMR (**Figura 1**) e applicando protocolli di analisi statistica multivariata (PCA, PLS-DA e OPLS-DA) si è valutato come i campioni siano principalmente influenzati da naturali cambiamenti metabolici in base al periodo di *storage* del prodotto. In aggiunta, ove era presente una numerosità di campioni statisticamente significativa, è stato possibile differenziare la provenienza dei campioni di zafferano, per 6 regioni (Lombardia, Veneto, Umbria, Sicilia, Emilia Romagna e Piemonte) sia considerando campioni con lo stesso periodo di storage che tutti i campioni, indipendentemente dal periodo di storage.

Applicazioni

Serve alle aziende per garantire tracciabilità e autenticità dello zafferano, valorizzare l'origine regionale, migliorare qualità e conservazione, rafforzare marketing territoriale e competitività sui mercati.

Figura 1. Spettro ^1H NMR di un campione di zafferano con assegnazione dei principali metaboliti



Autori

R. Consonni, D. Iannone, L.R. Cagliani

Ente di appartenenza





OLI-VI. Caratterizzazione Analitica delle Filiere Olio e Vino in Puglia e Sicilia

Introduzione

La valorizzazione delle produzioni agroalimentari è strategica per l'Italia.

Il progetto OLI-VI mira a caratterizzare in modo avanzato le filiere dell'olio e del vino di Puglia e Sicilia, territori a forte vocazione agricola, attraverso tecniche analitiche di frontiera. In un contesto di crescente attenzione a qualità, sicurezza e tracciabilità, l'iniziativa intende tutelare i consumatori, contrastare le frodi e rafforzare la competitività delle produzioni locali, migliorando la conoscenza delle caratteristiche chimiche, nutrizionali e organolettiche dei prodotti.

Metodologia

Nel corso del progetto sono stati raccolti e preparati campioni rappresentativi di olio e vino, selezionati secondo criteri rigorosi e conservati in condizioni ottimali. Parallelamente è stata sviluppata la piattaforma OLI-VI, uno strumento digitale avanzato per la gestione e l'integrazione dei dati analitici. La piattaforma permette di archiviare in maniera strutturata i risultati delle analisi, confrontare i profili chimici e isotopici dei campioni e associare i dati alla relativa geolocalizzazione delle cultivar. In questo

modo favorisce la condivisione delle informazioni tra i partner di progetto, supportando sia l'elaborazione di report tecnico-scientifici sia il trasferimento di conoscenze verso operatori e stakeholder del settore.

I campioni sono stati successivamente sottoposti ad analisi chimiche mediante spettrometria di massa per la rilevazione di metalli pesanti e lantanidi, e l'identificazione dei profili lipidici e polifenolici. Sono state inoltre condotte analisi delle sostanze organiche volatili e analisi isotopiche specifiche per composto e di isotopi stabili, finalizzate all'autenticazione dell'origine geografica. I dati ottenuti sono stati integrati in report tecnico-scientifici.

Risultati e conclusioni

OLI-VI fornisce una mappatura analitica completa delle produzioni olivicole e vitivinicole pugliesi e siciliane, consentendo di:

- migliorare qualità e sicurezza dei prodotti;
- rafforzare la tracciabilità e la fiducia dei consumatori;
- supportare la prevenzione delle frodi con strumenti oggettivi;
- aumentare la competitività delle filiere sui mercati nazionali e internazionali.

Applicazioni

Serve alle aziende olivicole e vitivinicole per certificare origine e qualità, prevenire frodi, rafforzare tracciabilità, valorizzare prodotti pugliesi e siciliani, migliorando competitività e fiducia dei consumatori.

Figura 1. Fasi principali del sistema OLI-VI per la gestione e l'integrazione dei dati



Autori

P. Porpora, G. M. Voccola, G. Pontecorvo, L. Martella, A. Amoroso

Ente di appartenenza





Olio e vino – Quando la qualità si riconosce in laboratorio

Introduzione

L'olio extravergine d'oliva e il vino rappresentano due delle eccellenze del comparto agroalimentare italiano. Apprezzati da sempre per le loro caratteristiche organolettiche e ormai sempre più valorizzati guardando al loro legame col territorio e con la tradizione, tali prodotti sono dotati di acclerate proprietà benefiche, specialmente in virtù del loro contenuto in composti antiossidanti. È perciò sempre più importante che il consumatore e le aziende produttrici possano essere consapevoli del contenuto e della natura di tali sostanze, che può essere quindi attestato tramite analisi di laboratorio. Nell'ambito del progetto Agritech (Spoke 9), nei laboratori dell'Università degli Studi di Siena, in parallelo rispetto agli studi sulla tracciabilità dell'origine geografica di olio e vino italiano, è stata portata avanti la ricerca mirata alla valutazione della qualità di tali prodotti.

Metodologia

La qualità di olio e vino è intrinsecamente collegata alla loro composizione chimica e, in particolar modo, al loro contenuto in polifenoli, una classe di metaboliti secondari prodotti all'interno delle olive e degli acini d'uva, che – pur se presenti in quantità molto ridotte – conferiscono al pro-

dotto finale particolari caratteristiche organolettiche e un potere antiossidante che si traduce in un'azione preventiva nei confronti di diverse patologie. L'identificazione e la quantificazione di tali composti in campioni di olio e di vino sono state effettuate tramite tecniche di spettroscopia di risonanza magnetica nucleare e nel range spettrale del visibile/UV e, soprattutto, tramite spettrometria di massa ad alta risoluzione accoppiata a cromatografia liquida. Oltre alla componente metabolomica, anche il contenuto di metalli e minerali può avere una rilevanza parlando di qualità e sicurezza di prodotti agroalimentari, specialmente nel caso del vino, dove questi componenti sono relativamente più abbondanti. Lo studio della componente inorganica di campioni di olio e vino è stato eseguito tramite spettrometria di massa a plasma accoppiato induttivamente.

Risultati e conclusioni

Nel corso delle campagne di campionamento 2022, 2023 e 2024, sono stati raccolti e analizzati oltre 1000 campioni provenienti da aziende delle filiere olivicola e vitivinicola localizzate in 9 regioni del territorio italiano, non limitandosi al prodotto finale, ma prevedendo anche lo studio di suoli, frutti (olive e uva) e foglie di olivo e di vite. L'enorme mole di dati raccolti è andata a costituire un database che rappresenta un importante patrimonio conoscitivo relativamente alla qualità e alla sicurezza di olio d'oliva, lungo l'intera filiera, dal suolo alla tavola.

Applicazioni

Serve alle aziende per disporre di un database unico su qualità e sicurezza di olio e vino, migliorare tracciabilità, monitorare filiera completa e valorizzare prodotti sul mercato.

Autori

M. Baglioni, A. Donati, D. Tatini, C. Tozzi

Ente di appartenenza



UNIVERSITÀ
DI SIENA
1240

Figura 1. Spettrometro di massa ad alta risoluzione accoppiato a cromatografia liquida ad alte prestazioni (HPLC-HR-MS) utilizzato per l'analisi della qualità di olio d'oliva e vino

