

AGROALIMENTARE E INTELLIGENZA ARTIFICIALE: LA NUOVA FRONTIERA NELLE CERTIFICAZIONI E NELLA LOTTA ALLE FRODI ALIMENTARI

Marica ANTONICELLI *, Maurizio TRIGGIANI **, Biagia MUSIO*, Mario LATRONICO*, Piero MASTRORILLI*, Vito GALLO*

Politecnico di Bari

*Dipartimento di Ingegneria Civile, Ambientale, del Territorio, Edile e di Chimica

**Dipartimento di Ingegneria Elettrica e dell'Informazione

marica.antonicelli@poliba.it, maurizio.triggiani@poliba.it, biagia.musio@poliba.it,

mario.latronico@poliba.it, pietro.mastrorilli@poliba.it, vito.gallo@poliba.it

SOMMARIO

Negli ultimi anni, l'interesse del mondo della ricerca e dell'industria verso metodi d'indagine che permettono la valorizzazione delle produzioni di qualità è aumentato in modo considerevole. La spettroscopia di risonanza magnetica nucleare (NMR) rappresenta uno dei più efficaci e promettenti strumenti per il *fingerprinting* metabolomico degli alimenti che sempre più spesso viene impiegato per combattere le frodi alimentari. Il *fingerprinting* metabolomico di un alimento, grazie all'elevato dettaglio informativo, si presta allo sviluppo di sistemi automatizzati capaci in pochi secondi di riconoscere le caratteristiche salienti di un prodotto. Le reti neurali, o algoritmi esperti, sono capaci di riconoscere le caratteristiche fondamentali dei dati forniti da uno spettrometro NMR, generalizzarle e, successivamente, con un opportuno addestramento, sono in grado di riconoscere le caratteristiche di campioni ignoti. In questo articolo sono illustrate la potenzialità del *fingerprinting* metabolomico nel garantire maggiore sicurezza e valore sia ai consumatori sia agli stessi produttori. La capacità di ricavare informazioni su un prodotto agroalimentare direttamente dal suo profilo metabolomico rende possibile immaginare questi sistemi come coadiuvanti al sistema di certificazione attualmente in uso, rendendo quest'ultimo ancora più robusto e resistente ai tentativi di frode, supportato anche con le tecnologie informatiche basate sulla blockchain.

PREMESSA

La possibilità di tracciare i prodotti agroalimentari lungo l'intera filiera rappresenta un aspetto chiave per la loro valorizzazione e la sicurezza per il consumatore finale. Per tracciabilità si intende l'insieme di tutte quelle procedure applicate all'intera catena di approvvigionamento (dal raccolto al consumatore), che, assicurando l'origine geografica, la tipicità e la qualità del prodotto, tutelano non soltanto i consumatori, ma anche gli stessi produttori.

Sviluppare ed ottimizzare metodi analitici accurati e sensibili in grado di assicurare l'autenticità dei prodotti agroalimentari è da diversi anni diventata un'attività di ricerca fondamentale sia in ambito industriale sia in quello della promozione dei prodotti a marchio. Garantire una certificazione robusta non ha solo dei benefici in termini di qualità del prodotto e di tutela del consumatore, ma, allo stesso tempo, si propone come argine contro la contraffazione che, a causa della crescente globalizzazione, pone i prodotti di qualità in competizione con falsi sempre più sofisticati e difficili da individuare. L'approccio analitico che viene proposto nel presente articolo, si basa sul concetto di impronta digitale, comunemente detta *fingerprinting*, di una matrice agroalimentare, da un punto di vista di composizione metabolica. Tale impronta digitale, essendo peculiare per ogni prodotto agroalimentare, diventa uno strumento che, affiancato alle certificazioni, rende queste ultime ancora più robuste.

Le tecniche descritte in questo articolo suggeriscono

di rinnovare il concetto di certificazione. Infatti, l'analisi di un piccolo campione potrebbe essere sufficiente a certificarne la provenienza, la varietà e la tipicità di un alimento con un'affidabilità elevata. La robustezza di tale certificazione trova supporto anche nelle tecnologie informatiche basate sulla *blockchain*, che rendono ancora più sicuri i dati in ingresso utilizzati ai fini della classificazione del prodotto stesso.

L'IMPRONTA DIGITALE DEGLI ALIMENTI

Gli scandali scoppiati negli ultimi anni (ad es. il latte contaminato con la melamina nel 2008 [2]; e lo scandalo della carne di cavallo aggiunta fraudolentemente a quella bovina nel 2013 [3]) hanno spostato l'attenzione verso lo sviluppo di metodi innovativi, rapidi ed affidabili, volti a garantire l'integrità della catena di approvvigionamento alimentare [4].

Oltre alle classiche procedure documentali, i metodi analitici convenzionali attualmente utilizzati per valutare l'autenticità dei prodotti agroalimentari si basano sull'identificazione e sulla successiva quantificazione di composti chimici noti presenti all'interno della matrice alimentare in esame. Tali metodi analitici, comunemente definiti *targeted*, comprendono una serie di tecniche di laboratorio che permettono di individuare un composto specifico o la corrispondente classe chimica di appartenenza. Pertanto, l'applicazione di tali metodiche richiede la conoscenza *a priori* della matrice alimentare da

sottoporre all’analisi. Tuttavia, tale approccio potrebbe risultare svantaggioso qualora non sia possibile conoscere *a priori* la composizione di una matrice, oppure quando, focalizzando l’attenzione su specifici composti, l’approccio *targeted* potrebbe non evidenziare particolari sofisticazioni e/o additivi sconosciuti, e pertanto ignorati, nel corso dell’analisi stessa. Ciò potrebbe dar luogo anche ad errori di identificazione nel complesso sistema di tracciabilità [1]



Fig. 1 – Spettrometro NMR Bruker Avance I 400 MHz (Bruker Italia S.r.l., Milano, Italia)

Negli ultimi decenni, si è assistito ad un sempre maggior impiego dell’approccio analitico definito *non-targeted* attraverso il quale è possibile ottenere informazioni relative all’intero profilo metabolico del prodotto agroalimentare, fornendo una vera e propria impronta digitale dell’alimento. Attraverso lo sviluppo di spettrometri altamente performanti, la spettroscopia NMR è attualmente una delle tecniche analitiche maggiormente impiegate nell’ambito della tracciabilità e dell’autenticità dei prodotti agroalimentari (figura 1).

La spettroscopia NMR è una tecnica analitica non distruttiva, rapida e riproducibile che ha attratto sempre più interesse nella comunità scientifica, e viene utilizzata con ottimi risultati nel controllo qualità dei prodotti agroalimentari, come dimostrato

dalle più recenti applicazioni riportate in letteratura [5-6].

La tecnica NMR permette di identificare e quantificare simultaneamente tutti i metaboliti contenuti nella matrice in esame, senza dover necessariamente conoscere *a priori* la natura di tali composti. In figura 2 è riportato, a titolo di esempio, lo spettro NMR registrato per un campione di uva da tavola. All’interno della finestra spettrale, possono essere individuate tre particolari regioni dello spettro: la regione caratteristica degli amminoacidi (1-3 ppm); la regione tipica dei composti aromatici (6-8 ppm); la regione caratteristica degli zuccheri (3-5 ppm).

Mediante l’impronta digitale prodotta dalla risonanza magnetica nucleare, è possibile non solo controllare in maniera affidabile la qualità dei prodotti agroalimentari ma anche risalire alle pratiche colturali e all’origine geografica del prodotto in esame.^[7] Questo è possibile in quanto l’identità e la quantità dei metaboliti contenuti nella matrice alimentare dipendono da diversi fattori, quali il clima, il suolo, e le pratiche agronomiche impiegate. L’insieme di questi fattori determinano una firma unica per ogni prodotto pressoché impossibile da modificare artificialmente. Di conseguenza, le numerose informazioni fornite mediante l’NMR, permettono di valutare l’autenticità di un prodotto agroalimentare con elevato grado di affidabilità, utilizzando piccole quantità di prodotto, in tempi brevi e costi contenuti.

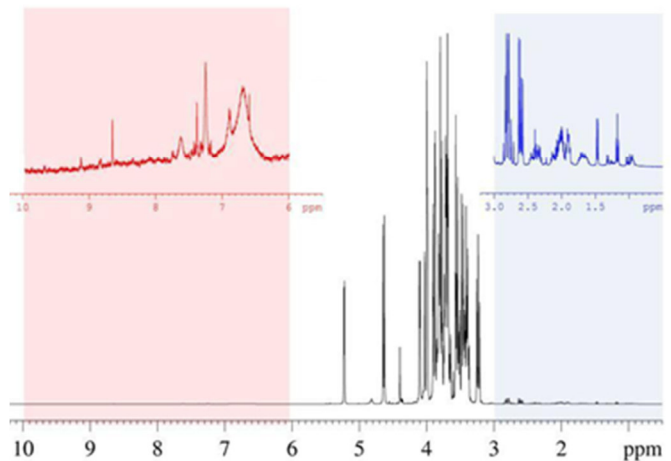


Fig. 2 – Tipico spettro NMR protonico (¹H) dell’uva da tavola.

L’UTILIZZO DI ALGORITMI ESPERTI PER CLASSIFICARE LE MATRICI

La principale sfida posta dall’approccio *non-targeted* all’analisi degli alimenti, risiede nella vastità di informazioni estrapolabili dallo spettro NMR. Un sistema esperto è in grado di ricavare informazioni

dettagliate sull’identità e la concentrazione dei metaboliti, in base ai segnali presenti nelle varie regioni dello spettro ed avvalendosi dei rapporti tra di essi utilizza delle relazioni che individua nella base di dati in fase di training. Al contrario questo tipo di complessità mal si concilia con l’effettiva capacità di un essere umano di essere consistente e comprensivo nell’interpretazione di un intero spettro, poiché l’indagine non si focalizza su precisi composti ma sull’intera matrice. Gli algoritmi esperti, invece, per loro natura sono in grado di tenere conto della complessità e della correlazione delle informazioni presenti negli spettri permettendo, non soltanto un riconoscimento puntuale della concentrazione di determinati metaboliti, ma riuscendo a inferire anche rapporti intrinseci tra le varie sostanze presenti nel campione, rendendo possibile una correlazione tra i rapporti di concentrazione di alcuni metaboliti e le proprietà del prodotto stesso.

Recentemente, nel nostro gruppo di ricerca è stata esplorata la possibilità di applicare questo tipo di approccio per l’analisi di differenti varietà di uva da tavola. In particolare, è stata verificata la capacità di un algoritmo esperto di recuperare le differenti varietà dell’uva da tavola, valutando i rapporti di concentrazione tra i diversi metaboliti presenti nella matrice, i quali rappresentano la firma di ogni singola varietà.

ANALISI DELL’OUTPUT NUMERICO: DALLE NUVOLE DI PUNTI AI BUCKETS

Al fine di ottenere dati attendibili per la valutazione della tracciabilità e supportare lo sviluppo di una certificazione unica e robusta del prodotto, le numerose informazioni contenute in uno spettro NMR vengono elaborate mediante strumenti chemometrici. Difatti, l’utilizzo di algoritmi, convertendo i dati spettroscopici in una matrice numerica, permette di interpretare ed indicizzare le informazioni contenute nello spettro NMR.

Tipicamente, uno spettro NMR registrato da uno spettrometro è costituito da un numero di punti che varia tra i 30.000 e i 40.000, i quali rappresentano l’insieme delle variabili da esplorare. A seguito dell’applicazione di opportuni algoritmi, tali punti vengono convertiti in una matrice numerica. Tuttavia, non tutti i punti contenuti nello spettro NMR risultano essere significativi per la successiva elaborazione da parte dell’algoritmo, essendo molti punti ridondanti. Per cui, la nuvola di punti derivanti dallo spettro NMR viene sottoposta al processo di *binning* o *bucketing*, in modo da ridurre

significativamente il numero di punti, ossia delle variabili di input per l’algoritmo. A seguito del processo di *bucketing*, lo spettro NMR viene suddiviso in piccole sezioni, chiamate *buckets*. Essi rappresentano l’area sottesa alla curva di punti che descrivono lo spettro entro quella sezione, riducendo, di conseguenza, il numero delle variabili presenti in quella porzione ad un unico valore. Attraverso il *bucketing*, viene generata una matrice di dati, detta *bucket-table*, la quale può essere utilizzata per specifici algoritmi chemometrici.

In figura 3 viene riportato il risultato del processo di *bucketing* applicato simultaneamente a quattro diversi spettri protonici NMR di una stessa matrice alimentare. È possibile individuare delle piccole variazioni del segnale contenuto all’interno del singolo bucket. Tali variazioni risultano fondamentali durante la successiva fase di elaborazione da parte dell’algoritmo, al fine di rivelare cruciali caratteristiche della matrice in esame (origine geografica, pratica colturale, varietà, etc.).

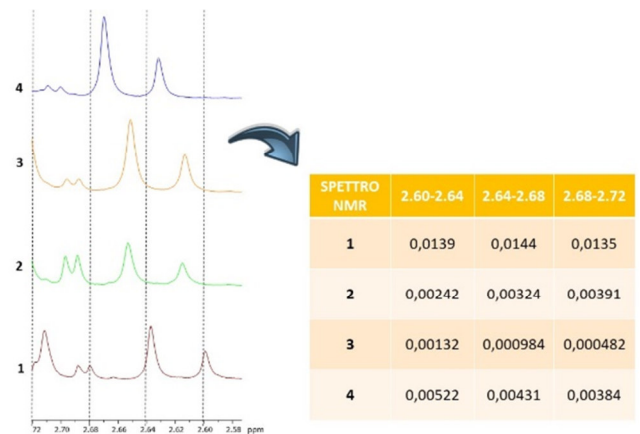


Fig. 3 – Esempio di bucketing. Ogni variabile (bucket) riportata nella bucket-table assume un determinato valore per ogni spettro NMR registrato.

UN ESEMPIO PRATICO: IL GRANO E LA FARINA

Nel corso del progetto INTELLITrace è stata esplorata e verificata la fattibilità di questo tipo di indagine. In particolare, sono stati analizzati 411 campioni di grano e farine provenienti da diversi lotti di produzione ed appartenenti alle varietà Simeto e Pietrafitta [8].

L’utilizzo di due algoritmi esperti, J48 [9] e Random Forest [10], ha permesso di svelare le differenze tra campioni di grano e di farina, mediante elaborazione dei dati contenuti nei corrispondenti spettri NMR. In tabella 1 sono riassunti i risultati di classificazione ottenuti, in termini di discriminazione tra grano e farina, e, anche, in termini di varietà colturale. In

particolare, è stato possibile identificare la varietà del grano analizzato con una precisione compresa tra 94.9 e 97.4%. Anche la precisione di classificazione della varietà della farina analizzata è risultata molto soddisfacente con valori compresi tra il 95.8% e il 94.7%. La precisione con cui è stato identificato il lotto di produzione è risultata maggiore per i campioni di grano rispetto a quelli della farina, passando dal 95.1% ottenuto mediante J48 al 98.9% derivante dall’applicazione di RF. Nel caso dei campioni di farina, invece, la precisione di classificazione del lotto di produzione si è attestata su valori compresi tra l’89.8% (J48) e il 94.9% (RF). I valori di classificazione sui campioni di farina sono stati molto soddisfacenti sebbene inferiori a quelli dei campioni di grano. La maggiore disomogeneità dei campioni di farina e i processi di lavorazione possono essere ipoteticamente alla base di questo risultato.

Da notare, per le potenziali applicazioni pratiche, la possibilità di recuperare l’identità del lotto di produzione del grano eseguendo l’analisi delle farine. Anche in questo caso sono state ottenute percentuali di classificazione molto alte comprese tra 89.8% (J48) e 94.9% (RF). Questo tipo di riconoscimento, sebbene richieda un accurato lavoro di analisi ed immagazzinamento di spettri per tutti i lotti di grano e delle relative farine, fornisce uno strumento molto potente per la lotta alla contraffazione. Il lotto di produzione, infatti, non è più solo un numero stampato sull’etichetta, ma è “scritto” praticamente all’interno del profilo metabolomico del prodotto stesso e può essere “letto” con un’analisi semplice e robusta da tutti i laboratori in grado di utilizzare la tecnica NMR.

Tabella 1 -

Algoritmo di classificazione	J48	RF
Informazione identificata	Precisione di classificazione %	
Prodotto (Grano vs Farina)	99,3	100,0
Varietà Grano	94,9	97,4
Varietà Farina	95,8	94,7
Lotto Grano	95,1	98,9
Lotto Farina	89,8	94,9
Lotto grano da analisi farina	89,8	94,9

LA CLASSIFICAZIONE COME CERTIFICAZIONE

Come già anticipato nelle premesse, le tecniche presentate in questo articolo rendono possibile ripensare il concetto di certificazione nella forma in cui è diffusamente impiegato nella pratica quotidiana. Attualmente, un prodotto può essere definito

“certificato” qualora sia disponibile un’articolata serie di documenti cartacei, derivanti anche da test di laboratorio, che attestino le proprietà e il percorso che lo stesso prodotto ha fatto lungo la filiera produttiva. Questo tipo di approccio, per sua natura, estende la propria copertura ad interi lotti di prodotto eseguendo solo l’analisi di alcuni campioni. Si deve considerare però che, allo stesso tempo, l’intero lotto potrebbe subire alterazioni e sofisticazioni in qualsiasi momento, lungo tutta la filiera produttiva, in maniera più o meno volontaria.

La possibilità di spostare il concetto di “certificazione” dai documenti cartacei alla natura stessa del prodotto è la vera sfida innovativa che si pone il metodo analitico *non-targeted* descritto nel presente articolo. In altre parole, ci si pone l’obiettivo di rendere ogni campione di prodotto *self-describing*, ossia in grado di raccontare la sua storia, senza dover ricorrere alla documentazione cartacea. Un’analisi di un piccolo campione, infatti, può certificare la provenienza, la varietà colturale, e la storia di un alimento, senza possibilità di alterazione.

Tuttavia, la strada per applicare questo innovativo processo di certificazione è lunga e non priva di ostacoli tecnici e legislativi. In prima istanza, è importante continuare la ricerca in questi ambiti, rafforzando e migliorando le procedure di preparazione ed analisi dei campioni al fine di ottenere *dataset* sempre più accurati e procedure sempre più ripetibili e robuste. Così facendo, il decisore informatico avrà a disposizione dei dati di input quanto più uniformi e rappresentativi possibile. Questo nuovo tipo di certificato deve essere inoltre riconosciuto dagli organi competenti, non solo scientifici ma anche legislativi e governativi, accreditando questo tipo di certificazione come utile al fine di garantire la veridicità delle informazioni riportate in etichetta.

PROSPETTIVE IN BLOCKCHAIN

Attualmente, la ricerca sull’addestramento delle reti neurali è molto vivace e non mancano anche ricerche su come influenzare malevolmente l’addestramento di algoritmi esperti. Attraverso tecniche di *adversarial machine learning* è possibile inserire, in fase di addestramento dell’algoritmo esperto, dati opportunamente manipolati al fine di influenzare il risultato della classificazione, non solo degradando la qualità stessa delle predizioni, ma influenzando il decisore stesso al fine di generare risposte pilotate che rispondono a determinati interessi. Essere preparati a qualsiasi attacco al sistema di

certificazione è importante, anche in questa fase iniziale. Una possibile strategia per tutelare la capacità predittiva del decisore esperto da eventuali attacchi di falsificazione consiste nell’applicazione delle tecnologie basate sulla *blockchain*. Tali tecnologie permettono di rendere immutabile nel tempo qualsiasi informazione sia stata salvata su di esse. Le tecnologie basate sulla blockchain si inseriscono bene nel contesto delle analisi agroalimentari per via NMR descritte finora. Infatti, nel momento in cui i risultati delle analisi spettroscopiche vengono inseriti in *blockchain* contestualmente all’esecuzione degli esperimenti, i dati destinati all’addestramento del classificatore diventano pressoché impossibili da modificare e, quindi, più sicuri. Tale strategia permetterebbe di tutelare le sequenze informative del *fingerprinting*, certificare i decisori esperti e, in definitiva, garantirebbe un elevato livello di sicurezza per il consumatore finale.

Considerate le importanti implicazioni dell’approccio descritto, risulta fondamentale che il legislatore riconosca il valore della *blockchain* come sistema affidabile di preservazione dei dati. Primi passi sono già stati fatti in questa direzione grazie al DL 135/2018.

IL DECRETO LEGGE 135/2018 (DECRETO SEMPLIFICAZIONE)

Convertito in legge il 7 febbraio 2019, stabilisce che memorizzare un dato su una blockchain sarà un modo valido per provarne l’esistenza a quella data. Lo stesso decreto definisce anche cosa si intende per tecnologie basate su registri distribuiti: "Si definiscono «tecnologie basate su registri distribuiti» le tecnologie e i protocolli informatici che usano un registro condiviso, distribuito, replicabile, accessibile simultaneamente, architetture decentralizzate su basi crittografiche, tali da consentire la registrazione, la convalida, l’aggiornamento e l’archiviazione di dati sia in chiaro che ulteriormente protetti da crittografia verificabili da ciascun partecipante, non alterabili e non modificabili".

<https://bre.ve.it/285E1>

ALTRE APPLICAZIONI E SVILUPPI FUTURI

Gli studi presentati sono stati applicati con successo a numerose matrici alimentari, tra cui pomodori, vino, foglie di vite, melograno, zafferano, olio d’oliva, miele e tanti altri[1, 7, 11].

Sfruttando il grande interesse che ruota attorno alle tecniche *non-targeted* è stato possibile reperire molti

campioni per diverse tipologie di alimenti, costruendo dataset utili all’addestramento di nuovi decisori. L’indagine *non-targeted* inoltre può essere estesa a settori diversi da quello agroalimentare, ma che, ugualmente, richiedono un elevato livello di sicurezza per il consumatore. Interessanti applicazioni sono state riportate, ad esempio, per il settore medicale, mediante studi *non-targeted* applicati alle analisi di matrici biologiche, quali urina e sangue [12]. Purtroppo, come ben noto, questo campo di applicazione è strettamente regolamentato e qualsiasi approccio deve tenere conto di protocolli consolidati e stringenti.

L’utilizzo di algoritmi esperti per la classificazione di matrici biologiche resta un campo che, nonostante abbia dimostrato le sue potenzialità, richiede ancora del tempo prima di un’applicazione diffusa, soprattutto per quanto riguarda la raccolta, la conservazione e la validazione dei dati. Risolte queste sfide, non sarà difficile pensare ad un nuovo concetto di certificazione, che si basi sul profilo metabolomico del singolo alimento in termini di certificazione di identità.

Inoltre, l’approccio analitico proposto assume ancor più valore se si pensa ai benefici che il sistema produttivo potrebbe trarre in termini di semplificazione procedurale durante il processo di riconoscimento delle denominazioni di origine di numerosi prodotti. Si consideri, ad esempio, il ricco elenco di denominazioni DOP e IGP di cui gode il nostro paese. In aggiunta, notevoli benefici potrebbero derivare per la certificazione dei prodotti biologici grazie alla possibilità di riconoscere le pratiche agronomiche applicate durante il processo produttivo. Infatti, il profilo metabolico di un prodotto agroalimentare ottenuto mediante pratica biologica presenta delle caratteristiche peculiari che permettono il suo differenziamento dallo stesso prodotto agroalimentare qualora venga ottenuto mediante pratica colturale convenzionale. Questo risultato diventa cruciale per tutelare il produttore che, in alcuni casi, può perdere il riconoscimento bio a causa di fonti di inquinamento accidentali. Difatti, il solo accertamento dell’assenza di residui di prodotti fitosanitari, come attualmente succede, potrebbe talvolta risultare inadeguato. In questo modo si supererebbero le numerose controversie derivanti dal riconoscimento di un prodotto bio.

Infine, si consideri anche l’enorme potenziale che queste analisi avrebbero nella promozione e nella valorizzazione di produzioni sostenibili. L’efficacia dei processi sostenibili si manifesterebbe nella composizione del prodotto e tale caratteristica

composizione potrebbe essere facilmente riconosciuta con una semplice e rapida analisi.

BIBLIOGRAFIA

- [1] V. Gallo, R. Ragone, [...], M. Latronico (2020). *A Contribution to the Harmonization of Non-targeted NMR Methods for Data-Driven Food Authenticity Assessment*, Food Analytical Methods, **13**, 530–541.
- [2] Gossner, C. M., Schlundt, J., Ben Embarek, P., Hird, S., Lo-Fo-Wong, D., Beltran, J. J. O., [...], Tritscher, A. (2009). *The melamine incident: Implications for international food and feed safety*, Environmental Health Perspectives, **117(12)**, 1803-1808.
- [3] Barnett, J., Begen, F., Howes, S., Regan, A., McConnon, A., Marcu, A., [...], Verbeke, W. (2016). *Consumers' confidence, reflections and response strategies following the horsemeat incident*, Food Control, **59**, 721-730.
- [4] Ellis, D. I., Brewster, V. L., Dunn, W. B., Allwood, J. W., Golovanov, A. P., & Goodacre, R. (2012). *Fingerprinting food: Current technologies for the detection of food adulteration and contamination*, Chemical Society Reviews, **41(17)**, 5706-5727.
- [5] Roberto Consonni, Laura Cagliani (2019). *The potentiality of NMR-based metabolomics in food science and food authentication assessment*, Magnetic Resonance in Chemistry, **57**, 558-578.
- [6] Sundekilde, U. K., Eggers, N., & Bertram, H. C. (2019). *NMR-Based Metabolomics of Food*, In Methods in Molecular Biology, **2037**, 335–344.
- [7] Gallo, V., Mastrorilli, P., Cafagna, I., Nitti, G. I., Latronico, M., Longobardi, F., Minoja, A. P., Napoli, C., Romito, V. A., Schäfer, H., Schütz, B., Spraul, M. (2014) *Effects of Agronomical Practices on Chemical Composition of Table Grapes evaluated by NMR Spectroscopy*, Journal of Food Composition and Analysis, **35**, 44-52.
- [8] <http://www.innovative-solutions.it/Intellitrace/>
- [9] Quinlan, J.R. C4.5: Programs for machine learning. Morgan Kaufmann, San Mateo, CA. 1993.
- [10] <http://www.stat.berkeley.edu/users/breiman/RandomForests>
- [11] Rosa Ragone, Stefano Todisco, Maurizio Triggiani, Stefania Pontrelli, Mario Latronico, Piero Mastrorilli, Nicola Intini, Claudia Ferroni, Biagia Musio, Vito Gallo (2020). *Development of a food class-discrimination system by non-targeted NMR analyses using different magnetic field strengths*, Food Chemistry, **32**, 127339
- [12] Veronica Ghini, Deborah Quaglio, Claudio Luchinat, Paola Turano (2019). *NMR for sample quality assessment in metabolomics*, New Biotechnology, **52**, 25-34.

La valenza applicativa delle ricerche condotte dal gruppo di chimici del Politecnico di Bari si è tradotta nella creazione di Innovative Solutions (www.innovative-solutions.it), società Spin-off del Politecnico di Bari, che sviluppa sistemi di supporto alle decisioni (DSS) finalizzati alla valorizzazione dei prodotti alimentari e all'ottimizzazione dei processi di produzione, di conservazione o di trasformazione.

Tra i tanti progetti realizzati, si evidenziano:

- **In Oleo Veritas** (realizzato per conto della Camera di Commercio di Bari) che nasce con l'obiettivo di rendere pubbliche e rintracciabili le informazioni commerciali e analitiche degli oli extra vergine di oliva prodotti nella provincia di Bari;
- **Wheat Tracer®**, classificatore di grano e farine e per la predizione della loro destinazione d'uso ottimale;
- **Wine Grapes Tracer**, classificatore di uve da vino per la selezione delle uve da utilizzare nella produzione di vini di qualità;
- **Vine Leaves Tracer**, classificatore di foglie di vite fresche o in salamoia finalizzato alla valorizzazione delle pratiche agronomiche impiegate per la loro produzione;
- **INTELLITrace**, una piattaforma online per la classificazione delle matrici alimentari nell'ambito del programma Europeo FoodIntegrity;
- **PASCQua**, una piattaforma online per la valorizzazione dei prodotti agroalimentari ottenuti mediante l'impiego del compost di qualità;
- Brevetto "**Metodo e dispositivo di determinazione della propensione alla conservazione di uva da tavola**" che consente di determinare (in campo o in cella) la conservabilità di un lotto di uva da tavola e anche il numero di giorni residui per la sua commerciabilità.