

ANALISI



Tracciare il terroir nel calice: come la merceologia può certificare l'autenticità del Montepulciano d'Abruzzo

Dalla ricerca dell'Università San Raffaele Roma un modello innovativo per autenticare vini DOP attraverso analisi isotopiche, multi-elementari e intelligenza artificiale

Nel mondo del vino, parlare di autenticità significa parlare di territorio. Ogni bottiglia racchiude infatti una combinazione irripetibile di fattori naturali e umani: il tipo di suolo, il clima, le pratiche agricole, le tecniche di vinificazione e la tradizione locale. Questo insieme di elementi prende il nome di terroir, concetto centrale nella cultura enologica europea e particolarmente importante nei vini a Denominazione di Origine Protetta. Le certificazioni DOP rappresentano uno strumento fondamentale per tutelare la qualità, la provenienza geografica e l'identità culturale dei prodotti agroalimentari, garantendo ai consumatori che il vino acquistato provenga effettivamente da una determinata area e sia stato prodotto secondo specifici disciplinari.

Negli ultimi anni, tuttavia, la crescente globalizzazione del mercato vinicolo ha reso più complessa la tutela dell'autenticità dei prodotti. Fenomeni come la contraffazione, l'uso improprio delle denominazioni geografiche e la difficoltà di verificare l'origine reale dei vini rappresentano una sfida importante sia per i produttori sia per gli enti di controllo. In questo contesto, la ricerca scientifica ha iniziato a sviluppare strumenti sempre più sofisticati per identificare una sorta di "impronta chimica" del vino, capace di collegarlo al territorio di provenienza.

Uno dei casi più interessanti riguarda il Montepulciano d'Abruzzo DOP, tra i vini rossi italiani più conosciuti e consumati al mondo. Nonostante la sua forte identità territoriale e il valore economico della filiera, fino a oggi erano pochi gli studi scientifici dedicati alla tracciabilità geografica di questo vino su scala micro-territoriale. Le metodologie tradizionali, basate soprattutto su parame-

Mattia Rapa

Ricercatore in Tenure Track in Scienze Merceologiche (ECON-10/A) presso l'Università San Raffaele di Roma.

Stefania Supino

Professore Ordinario di Scienze Merceologiche presso l'Università San Raffaele Roma. Direttore del Dipartimento di Scienze Umane e Promozione della Qualità della Vita dell'Università San Raffaele Roma.

Marco Ferrante

PhD in Scienze Fisiche e Chimiche, è esperto di spettrometria di massa, tracciabilità alimentare e analisi dei dati. Già CEO di Isotopic Ratio Institute, nel 2021 ha cofondato Trace Technologies.



Trace Technologies
Scientific Traceability Ecosystem

tri enologici standard, non erano infatti sufficienti a distinguere vini provenienti da produttori diversi all'interno della stessa Denominazione.

Per colmare questa lacuna, un gruppo di ricercatori dell'Università San Raffaele Roma, della Sapienza Università di Roma, della Luleå University of Technology e di Trace Technologies ha condotto uno studio pilota innovativo volto a sviluppare un sistema scientifico di autenticazione del Montepulciano d'Abruzzo DOP. L'obiettivo della ricerca era verificare se fosse possibile distinguere i vini dei diversi produttori attraverso l'analisi combinata della composizione elementare e isotopica del vino e del suolo, integrata con tecniche avanzate di statistica multivariata e di intelligenza artificiale.

La composizione elementare di un vino rappresenta infatti una sorta di "firma naturale" derivante dall'interazione tra il terreno, l'acqua, il vitigno e le pratiche agricole. Elementi come lo stronzio, il piombo, il molibdeno o il bario vengono assorbiti dalla vite dal suolo e trasferiti, almeno in parte, all'uva e, successivamente, al vino. Analizzando questi elementi e alcuni rapporti isotopici specifici, i ricercatori possono ricostruire collegamenti tra il prodotto finito e il territorio d'origine.

Lo studio assume particolare rilevanza anche dal punto di vista economico e manageriale. La possibilità di dimostrare scientificamente l'origine di un vino DOP può infatti rafforzare la competitività internazionale dei produttori, aumentare

la fiducia dei consumatori e supportare sistemi di tracciabilità digitale sempre più richiesti dal mercato. Inoltre, tali strumenti potrebbero contribuire alla valorizzazione sostenibile del territorio, offrendo alle aziende vitivinicole nuove opportunità di differenziazione commerciale.

Questa ricerca rappresenta quindi un esempio concreto di come scienza, tecnologia e gestione delle filiere agroalimentari possano integrarsi per proteggere e valorizzare le eccellenze territoriali italiane.

Metodologia

La ricerca ha coinvolto cinque produttori della filiera del Montepulciano d'Abruzzo DOP, selezionati tra quelli in grado di garantire la tracciabilità diretta dal vigneto al vino imbottigliato. Sono stati raccolti 40 campioni di vino e 40 campioni di suolo provenienti dai vigneti corrispondenti, considerando due diverse annate produttive per ridurre l'effetto delle variazioni stagionali.

I campioni sono stati sottoposti ad analisi mediante spettrometria di massa ad alta risoluzione (HR-ICP-MS) e spettrometria multi-collettore (MC-ICP-MS), tecniche altamente sensibili in grado di identificare concentrazioni minime di elementi chimici e rapporti isotopici. In totale sono stati misurati 63 elementi chimici, tra cui calcio, ferro, sodio, bario, molibdeno, piombo e stronzio.

Figura 1. Analisi delle componenti principali (PCA) dei campioni di vino e di suolo. I pannelli A mostrano i risultati relativi ai vini, mentre i pannelli B quelli relativi ai terreni. A sinistra sono riportati i punteggi della PCA, a destra sono mostrati i carichi (loadings), che indicano quali elementi e rapporti isotopici contribuiscono maggiormente alla separazione osservata.

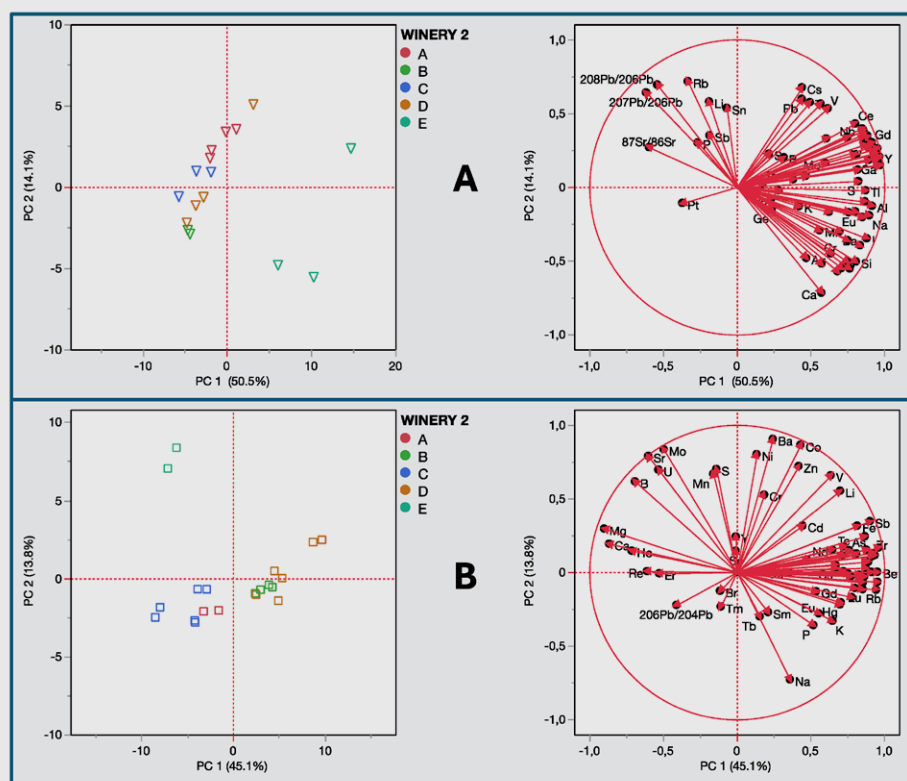


Tabella 1. La “firma” isotopica dei vini Montepulciano d’Abruzzo.

Rapporto isotopico	A	B	C	D	E
$^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$2,100 \pm 0,003$	$2,100 \pm 0,006$	$2,100 \pm 0,002$	$2,100 \pm 0,003$	$2,100 \pm 0,003$
$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$0,860 \pm 0,001$	$0,850 \pm 0,004$	$0,860 \pm 0,002$	$0,860 \pm 0,001$	$0,850 \pm 0,002$
$^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$18,0 \pm 0,34$	$19,0 \pm 0,14$	$18,0 \pm 0,10$	$18,0 \pm 0,10$	$19,0 \pm 0,21$
$^{208}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$	$2,400 \pm 0,001$	$2,400 \pm 0,004$	$2,400 \pm 0,003$	$2,400 \pm 0,001$	$2,500 \pm 0,002$
$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$	0,71	0,71	0,71	0,71	0,71

Nota: i valori sono espressi come media $\pm$ deviazione standard (S.D.) e sono riportati con l’arrotondamento presente nella tabella originale. I gruppi A-E rappresentano i diversi campioni/insiemi di campioni analizzati.

Successivamente i dati sono stati elaborati con metodi statistici avanzati e algoritmi di machine learning. Tra le tecniche utilizzate figurano Principal Component Analysis (PCA), Linear e Quadratic Discriminant Analysis (LDA e QDA), Random Forest, Support Vector Machine e reti neurali artificiali (ANN). Questi strumenti hanno permesso di identificare i parametri più utili per distinguere i vini tra i diversi produttori e di costruire modelli predittivi di classificazione. Particolare attenzione è stata dedicata anche all’individuazione di eventuali valori anomali e alla validazione statistica dei modelli, così da garantire robustezza e affidabilità scientifiche ai risultati ottenuti.

Risultati

I risultati dello studio hanno dimostrato che il Montepulciano d’Abruzzo possiede effettivamente una firma chimica riconoscibile e differenziabile tra i diversi produttori. L’analisi multi-elementare ha evidenziato differenze statisticamente significative nella concentrazione di numerosi elementi presenti nei vini. In particolare, il produttore identificato come “E” mostrava concentrazioni significativamente più elevate di alluminio, arsenico, bario, calcio, cobalto, sodio e selenio (**Figura 1**). Le analisi del suolo hanno confermato una forte correlazione tra la composizione minerale del suolo e quella del vino, dimostrando che alcuni elementi possono essere utilizzati come marcatori geografici. Tra tutti i parametri analizzati, quattro variabili si sono rivelate particolarmente efficaci nel distinguere i produttori: molibdeno (Mo), fosforo (P), rapporto isotopico $^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ e rapporto isotopico $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ (**Tabella 1**). Uno degli aspetti più interessanti riguarda l’impiego dell’intelligenza artificiale. I modelli basati sulla Quadratic Discriminant Analysis e sulle reti neurali artificiali hanno raggiunto un’accuratezza del 100% nella classificazione dei campioni per produttore. Ciò significa che il sistema è stato in grado di attribuire correttamente ogni vino al produttore di origine utilizzando esclusivamente i dati chimici raccolti (**Tabella 2**).

I risultati suggeriscono che la composizione chimica del vino non dipende soltanto dal vitigno, ma anche da caratteristiche micro-geografiche del territorio e dalle pratiche agricole adottate. Questa scoperta apre nuove prospettive per la lotta alle frodi alimentari e per la valorizzazione commerciale dei vini DOP.

Dal punto di vista economico, un sistema di autenticazione scientifica potrebbe rafforzare la reputazione internazionale del Montepulciano d’Abruzzo, aumentando la trasparenza della filiera e offrendo ai consumatori maggiori garanzie sull’origine del prodotto. Inoltre, tali strumenti potrebbero essere integrati in sistemi digitali di tracciabilità e blockchain agroalimentare.

Conclusioni

Lo studio dimostra come l’integrazione tra chimica analitica avanzata, isotopia e intelligenza artificiale possa costituire uno strumento estremamente efficace per certificare l’origine geografica dei vini DOP. Nel caso del Montepulciano d’Abruzzo, la ricerca ha evidenziato che il vino e il suolo condividono una relazione elementare, misurabile e utilizzabile per sviluppare modelli affidabili di autenticazione territoriale. I risultati ottenuti rappresentano un importante passo avanti nella valorizzazione scientifica del concetto di terroir. Tradizionalmente considerato un elemento culturale e sensoriale, il terroir emerge qui anche come una realtà misurabile tramite marker specifici. Ciò consente di trasformare un concetto spesso percepito come soggettivo in un sistema oggettivo e verificabile.

Dal punto di vista applicativo, le implicazioni sono numerose. I Consorzi di tutela potrebbero utilizzare questi modelli per rafforzare i controlli sull’autenticità, mentre i produttori potrebbero sfruttare le analisi chimiche come strumenti di marketing e di differenziazione commerciale. Anche le istitu-

Tabella 2. Accuratezza della classificazione dei campioni di vino e suolo in base al produttore attraverso l’utilizzo dell’IA.

	A	B	C	D	E
LDA	67,00%	67,00%	89,00%	60,00%	60,00%
QDA	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%
ANN	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%
RF	100,00%	83,00%	100,00%	100,00%	100,00%
NB	67,00%	67,00%	89,00%	60,00%	100,00%
SVM	100,00%	75,00%	83,00%	50,00%	67,00%

zioni europee e gli enti regolatori potrebbero beneficiare di sistemi scientifici di verifica dell'origine per contrastare frodi e contraffazioni nel settore agroalimentare. La ricerca presenta tuttavia alcuni limiti. Il numero di produttori coinvolti era relativamente ridotto, a causa della struttura cooperativa della filiera e della difficoltà a garantire la tracciabilità completa tra vigneto e bottiglia. Saranno quindi necessari ulteriori studi su campioni più ampi e su più annate per consolidare la validità del modello e verificarne la replicabilità su larga scala. In prospettiva futura, questo approccio potrebbe essere esteso ad altre denominazioni italiane ed europee, contribuendo allo

sviluppo di sistemi digitali avanzati di tracciabilità territoriale. Inoltre, l'integrazione con tecnologie blockchain e piattaforme di certificazione digitale potrebbe rendere disponibile ai consumatori una vera e propria "carta d'identità chimica" del vino. La ricerca mostra, infine, come la collaborazione tra università, imprese e laboratori tecnologici possa generare innovazione concreta per il settore vitivinicolo. In un mercato sempre più competitivo e globalizzato, la capacità di dimostrare scientificamente l'autenticità, la qualità e l'origine potrebbe diventare uno degli strumenti più importanti per proteggere e valorizzare il patrimonio enologico italiano.

RIFERIMENTI RICERCA

Titolo

Creating Value for the Montepulciano D'Abruzzo PDO Chain: A Pilot Study of Supply Chain Traceability Using Multi-Elemental and Chemometrics Analysis of Wine and Soil.

Autori

M. Rapa, S. Supino, M. Ferrante, I. Rodushkin, M. E. Conti

Fonte

Applied Sciences, 16(3), 1266.

Link: <https://doi.org/10.3390/app16031266>



Abstract

Questo studio pilota integra la profilazione multi-elementare e isotopica con l'analisi chemiometrica per l'autenticazione dell'origine del Montepulciano d'Abruzzo DOP, a supporto delle decisioni strategiche, gestionali e normative degli stakeholder vitivinicoli. Campioni di vino e suolo di produttori abruzzesi sono stati analizzati per 63 elementi e rapporti isotopici selezionati mediante HR-ICP-MS e MC-ICP-MS. L'analisi esplorativa (PCA e clustering) ha rivelato una forte struttura intrinseca del dataset combinato, e le tecniche di selezione delle variabili hanno individuato quattro marcatori chiave: Mo, $^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$, P e $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$. L'Analisi Discriminante Quadratica e le Reti Neurali Artificiali hanno raggiunto il 100% di accuratezza nella classificazione per produttore. I risultati dimostrano che l'integrazione di dati multi-elementari e isotopici con strumenti chemiometrici consente di autenticare l'origine del vino e accrescere la trasparenza della filiera DOP, fornendo un modello pilota di supporto alle decisioni per la differenziazione competitiva, la conformità normativa e lo sviluppo territoriale sostenibile, con opportunità di trasformazione digitale nella gestione delle DOP.

Bibliografia essenziale

1. Albuquerque, T.G.; Oliveira, M.B.P.P.; Costa, H.S. 25 Years of European Union (EU) Quality Schemes for Agricultural Products and Foodstuffs across EU Member States. *J. Sci. Food Agric.* 2018, 98, 2475–2489.
2. Vecchio, R.; Annunziata, A. The Role of PDO/PGI Labelling in Italian Consumers' Food Choices. *Agric. Econ. Rev.* 2011, 12.
3. Dimitrakopoulou, M.E.; Vantarakis, A. Does Traceability Lead to Food Authentication? A Systematic Review from A European Perspective. *Food Rev. Int.* 2023, 39, 537–559.
4. Dominici, A.; Gerini, F.; Casini, L. Analysis of Performances and Trends of PDO Wine Producers in Large Retail Chains in Italy. *Wine Econ. Policy* 2024, 13, 127–140.
5. Tura, M.; Gagliano, M.A.; Soglia, F.; Bendini, A.; Patrignani, F.; Petracci, M.; Gallina Toschi, T.; Valli, E. Consumer Perception and Liking of Parmigiano Reggiano Protected Designation of Origin (PDO) Cheese Produced with Milk from Cows Fed Fresh Forage vs. Dry Hay. *Foods* 2024, 13, 309.
6. Conti, M.E.; Rapa, M.; Simone, C.; Calabrese, M.; Bosco, G.; Canepari, S.; Astolfi, M.L. From Land to Glass: An Integrated Approach for Quality and Traceability Assessment of Top Italian Wines. *Food Control* 2024, 158, 110226.
7. Rapa, M.; Ferrante, M.; Rodushkin, I.; Paulukat, C.; Conti, M.E. Venetian Protected Designation of Origin Wines Traceability: Multi-Elemental, Isotopes and Chemometric Analysis. *Food Chem.* 2023, 404, 134771.
8. Nanetti, E.; Palladino, G.; Scicchitano, D.; Trapella, G.; Cinti, N.; Fabbrini, M.; Cozzi, A.; Accetta, G.; Tassini, C.; Iannaccone, L.; et al. Composition and Biodiversity of Soil and Root-Associated Microbiome in Vitis Vinifera Cultivar Lambrusco Distinguish the Microbial Terroir of the Lambrusco DOC Protected Designation of Origin Area on a Local Scale. *Front. Microbiol.* 2023, 14, 1108036.
9. Chemidlin Prévost-Bouré, N.; Karimi, B.; Sadet-Bourgeteau, S.; Djemiel, C.; Brie, M.; Dumont, J.; Campedelli, M.; Nowak, V.; Guyot, P.; Letourneur, C.; et al. Microbial Transfers from Permanent Grassland Ecosystems to Milk in Dairy Farms in the Comté Cheese Area. *Sci. Rep.* 2021, 11, 18144.
10. Scozzafava, G.; Gerini, F.; Dominici, A.; Contini, C.; Casini, L. Reach for the Stars: The Impact on Consumer Preferences of Introducing a New Top-Tier Typology into a PDO Wine. *Wine Econ. Policy* 2018, 7, 140–152.