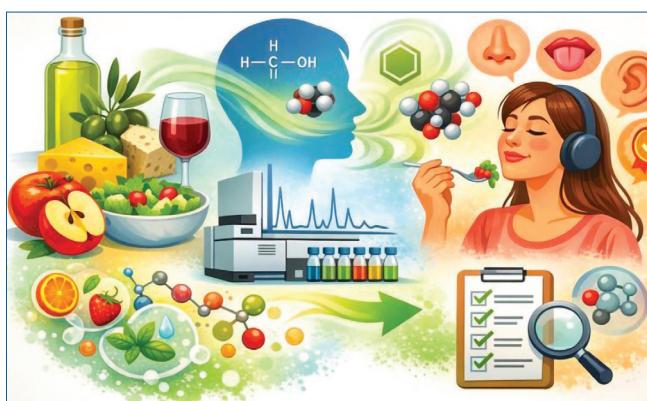




COMPOSTI VOLATILI E SCIENZE SENSORIALI PER LA DEFINIZIONE DELLA QUALITÀ DEGLI ALIMENTI

Studi di volatiloma in associazione alle scienze sensoriali rappresentano un approccio valido per la valutazione della qualità degli alimenti, consentendo di ottimizzarne fattori pre- e postharvest, processi di trasformazione e parametri di conservazione anche per lo sviluppo dei novel food.



L'avvento delle scienze omiche (genomica, trascrittomica, proteomica, metabolomica), dopo il Progetto Genoma Umano (HGP), ha rivoluzionato lo studio dei sistemi biologici, consentendone un'analisi olistica ed integrata [1]. Tra queste discipline, la volatilomica, ramo specializzato della metabolomica, studia i composti organici volatili (VOCs), molecole a basso peso molecolare caratterizzate da un'elevata pressione di vapore a temperatura ambiente, responsabili delle caratteristiche sensoriali degli alimenti [2].

Negli ultimi decenni, numerosi studi hanno dimostrato che lo studio del profilo VOCs di un alimento può dare importanti informazioni sulla qualità, autenticità e sicurezza degli alimenti [3].

I VOCs appartengono a diverse classi chimiche, come aldeidi, chetoni, alcoli, esteri e terpeni,

ognuna con caratteristiche chimico-fisiche ben distinte. La loro presenza e concentrazione in un alimento varia a seconda dello stato dell'alimento stesso (es. fresco), da eventuali processi di trasformazione (es. fermentazione, essiccazione, tostatura) e conservazione (temperatura, packaging) [4]. Altri fattori che incidono sul profilo volatile in un alimento sono i fattori biologici (es. genetica, studio di maturazione) e i fattori ambientali (es. origine geografica, metodi di coltivazione, stress biotici ed abiotici) [2, 5, 6].

Questi fattori influenzano notevolmente l'aroma dell'alimento, determinando profili volatili unici che costituiscono vere e proprie impronte chimiche digitali, utili per verificarne la qualità, l'autenticità e la sicurezza alimentare.

L'analisi dei VOCs richiede tecniche in grado di estrarre, separare ed identificare numerose molecole presenti in matrici complesse, come quelle alimentari. In questo contesto, la micro-estrazione in fase solida da spazio di testa (HS-SPME) accoppiata alla gas cromatografia-spettrometria di massa (GC-MS) rappresenta la tecnica più utilizzata [7]. La SPME è una tecnica analitica miniaturizzata che combina in un unico step l'estrazione, la purificazione e la pre-concentrazione degli analiti volatili da campioni liquidi o solidi, riducendo o eliminando l'uso di solventi, garantendo rapidità, riproducibilità e sostenibilità [2]. L'analisi HS-SP-

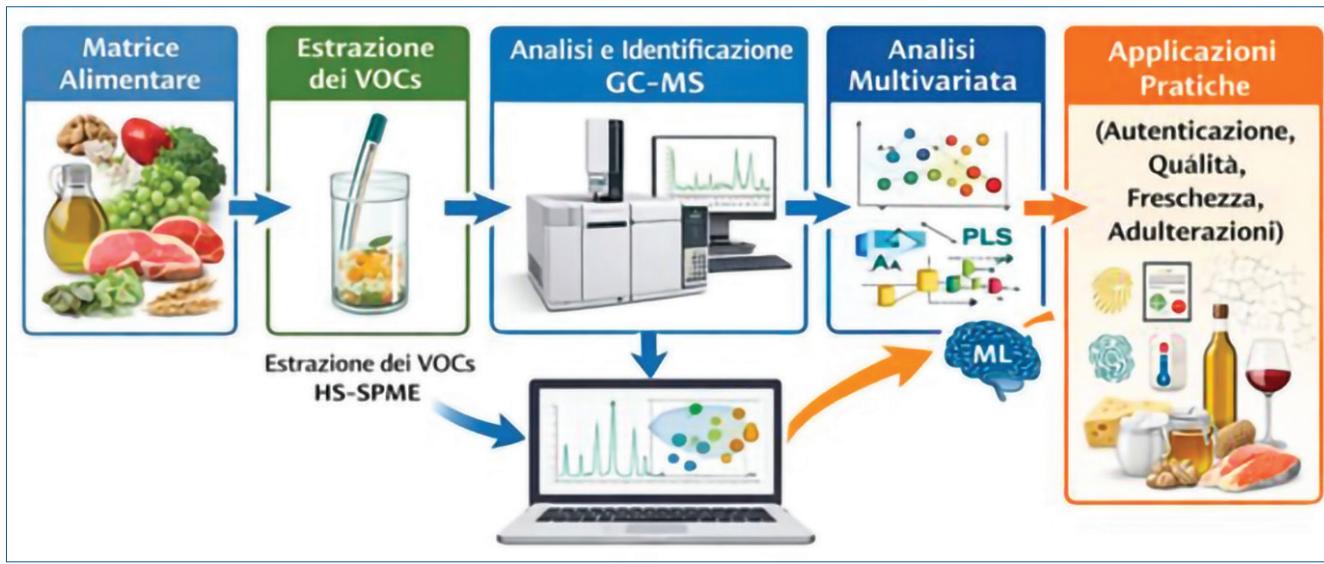
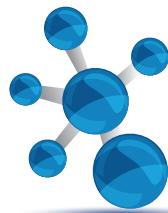


Fig. 1 - Workflow dell'analisi dei composti organici volatili (VOCs) negli alimenti. Il diagramma mostra le principali fasi dell'analisi volatilomica: campionamento, estrazione mediante micro-estrazione in fase solida da spazio di testa (HS-SPME), analisi tramite GC-MS o tecniche alternative (GCxGC-MS), raccolta dei dati e successiva elaborazione tramite analisi statistica multivariata per identificare potenziali biomarcatori volatili e valutare qualità, autenticità e freschezza dei prodotti alimentari

ME/GC-MS permette di ottenere profili volatili da matrici tal quali, senza nessun step preliminare di purificazione od estrazione. Pertanto, i profili ottenuti sono altamente rappresentativi del campione che si sta analizzando [8].

I dati generati mediante HS-SPME/GC-MS necessitano di elaborazione mediante analisi statistiche multivariate, fondamentali per ridurre la complessità dei dataset, discriminare i campioni in esame e individuare potenziali biomarcatori volatili di qualità [9] (Fig. 1).

Il profilo VOCs trova applicazione concreta lungo l'intera filiera alimentare, dalla produzione alla distribuzione, contribuendo in modo diretto alla definizione della qualità dei prodotti. Nel settore ortofrutticolo, la volatilomica è utilizzata per monitorare la freschezza, lo stadio di maturazione e la conservazione dei prodotti. Ad esempio, nei frutti climatici, ovvero quelli che continuano a maturare dopo la raccolta, come mele e banane, la variazione di esteri e alcoli volatili riflette i cambiamenti metabolici associati alla maturazione completa e permette di ottimizzare le condizioni di raccolta e conservazione, migliorando la qualità percepita dal consumatore [5].

Un ambito di crescente interesse è rappresentato dai prodotti di IV gamma, ovvero frutta e verdura fresca, lavata, tagliata e confezionata e per esse-

re pronta al consumo. Questi prodotti rispondono alle esigenze di praticità del consumatore moderno, ma presentano criticità legate ai processi di taglio e confezionamento, che possono alterarne la qualità attraverso fenomeni di ossidazione, stress tissutale e attività microbica. Tali modifiche influenzano il profilo VOCs che, quindi, viene utilizzato per monitorare la *shelf-life*, ma anche la salubrità e la sicurezza dell'alimento [10].

Nei prodotti fermentati, come vino, birra e latticini, i VOCs rappresentano dei marcatori fondamentali dei processi tecnologici subiti dal prodotto, risultando, ad esempio, fortemente influenzati dal tipo di colture starter impiegate [2].

Nel vino, inoltre, l'impronta aromatica consente di differenziare varietà, aree di produzione e tecniche di vinificazione [11]. Nella birra, l'analisi dei profili volatili permette di monitorare l'andamento della fermentazione e di individuare precocemente deviazioni indesiderate responsabili della formazione di *off-flavours* [12]. Nei formaggi, invece, specifiche classi di VOCs, in particolare i chetoni, risultano strettamente correlate ai processi di maturazione dell'alimento e possono essere utilizzate come indicatori del grado di stagionatura e della qualità sensoriale del prodotto finale [13].

Nel comparto ittico e delle carni, l'analisi dei VOCs viene con successo applicata per il controllo della



Fig. 2 - Applicazioni della volatilomica negli alimenti: dall'analisi della stagionatura dei formaggi alla verifica dell'origine dell'olio, fino al controllo di freschezza di frutta, verdura, carne e prodotti ittici

freschezza e della sicurezza. È stato visto, infatti, che l'aumento di ammine e composti solforati è indicativo di degradazione microbica consentendo una valutazione precoce della qualità del prodotto, ancor prima dell'aspetto visivo, utile nella gestione della *shelf-life* [2].

Nel complesso, la volatilomica rappresenta non solo uno strumento analitico, ma un supporto concreto alla valorizzazione della qualità sensoriale, alla tutela del consumatore e alla prevenzione delle frodi alimentari (Fig. 2).

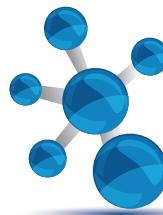
Un ulteriore campo applicativo riguarda lo sviluppo dei *novel foods*, ovvero alimenti o ingredienti “nuovi” rispetto a quelli tradizionalmente usati. Lo scopo dello sviluppo di tali alimenti è quello di offrire nuove opportunità nutrizionali. Al contempo, però, un alimento innovativo richiede una rigorosa valutazione della sicurezza prima della commercializzazione. In questi casi, la caratterizzazione del profilo VOCs, integrata con l'analisi sensoriale, risulta fondamentale per comprendere il profilo aromatico dei nuovi prodotti e valutare l'accettabilità da parte del consumatore. Studi recenti evidenziano, infatti, che la percezione sensoriale rappresenta uno dei principali fattori limitanti o abilitanti per il successo dei *novel foods* sul mercato, rendendo essenziale l'approccio combinato chimico-sensoriale nella loro progettazione e validazione [10].

L'analisi sensoriale degli alimenti si inserisce nel più ampio contesto delle scienze sensoriali che studiano la relazione tra le caratteristiche del pro-

dotto e le preferenze del consumatore utilizzando approcci multidisciplinari di tecnologia degli alimenti, statistica, psicologia, sociologia, chimica e biologia. Le scienze sensoriali, all'interno delle aziende, sono l'anello di collegamento tra le unità di ricerca e sviluppo e quelle di controllo qualità e marketing.

Le scienze sensoriali si strutturano come disciplina accademica negli USA a partire dal 1960 quando l'università californiana di Davis e quella del Massachusetts, in Oregon, danno vita ai primi corsi sul tema e il *British Standard Institute* fonda i primi gruppi di lavoro per elaborare standard che siano di riferimento per la corretta applicazione dell'analisi sensoriale con la formulazione delle prime schede di valutazione e dalle prime valutazioni numeriche. Nel 1975 una divisione specializzata dell'*Institute of Food Technologists* definisce la valutazione sensoriale come: “una disciplina scientifica impiegata per evocare, misurare, analizzare ed interpretare le sensazioni che possono essere percepite dagli organi di senso: vista, udito, olfatto, gusto e tatto”.

Lo “strumento” di misura principale che si utilizza in analisi sensoriale è il ‘panel test’, un gruppo ristretto di persone (8-12 soggetti) (il “panel”) selezionate e addestrate dal capo panel per valutare, in modo oggettivo e ripetibile, le caratteristiche sensoriali di un prodotto. Per tale motivo, tale “strumento” è molto sofisticato e richiede una calibrazione costante *ad hoc* per ogni prodotto da analizzare. L'obiettivo del panel è quello di misurare differenze



UNI EN ISO 8586:2023	Analisi sensoriale - Selezione e formazione degli assaggiatori La norma specifica i criteri per la selezione e le procedure per la formazione degli assaggiatori allenati e addestrati per alimenti e bevande, nonché prodotti per la cura della casa e della persona. È applicabile a tutte le industrie interessate alla valutazione dei prodotti da parte degli organi di senso
UNI EN ISO 13299:2016	Analisi sensoriale - Metodologia - Guida generale per la definizione del profilo sensoriale La norma fornisce delle linee guida sul processo globale di sviluppo di un profilo sensoriale. I profili sensoriali possono essere definiti per tutti i prodotti o campioni che possono essere valutati dai sensi della vista, dell'odore, del gusto, del tatto, o dell'udito (per esempio, prodotti alimentari, bevande, prodotti del tabacco, cosmetici, tessili, carta, imballaggi, campioni di aria o d'acqua). La norma può essere utile anche negli studi sulla conoscenza e il comportamento umano
UNI EN ISO 5492:2017	Analisi sensoriale - Vocabolario La norma definisce i termini relativi all'analisi sensoriale
UNI EN ISO 5495:2016	Analisi sensoriale - Metodologia - Metodo di comparazione a coppie La norma descrive una procedura per determinare se esiste una differenza sensoriale percepibile o una somiglianza tra campioni di due prodotti relativamente all'intensità del descrittore sensoriale
UNI EN ISO 4120:2021	Analisi sensoriale - Metodologia - Metodo triangolare La norma specifica una procedura per determinare se esiste una differenza sensoriale percepibile o una somiglianza tra i campioni di due prodotti. Il metodo è una procedura di scelta forzata
UNI EN ISO 8589:2014	Analisi sensoriale - Guida generale per la progettazione di locali di prova La presente norma è la versione ufficiale in lingua inglese della norma europea EN ISO 8589 (edizione febbraio 2010) e dell'aggiornamento A1 (edizione giugno 2014). La norma fornisce una guida generale per la progettazione di locali di prova destinati all'analisi sensoriale dei prodotti
UNI EN ISO 11136:2020	Analisi sensoriale - Metodologia - Guida generale per lo svolgimento di prove edonistiche con i consumatori in uno spazio controllato La norma descrive gli approcci per misurare, in uno spazio controllato, il grado di gradimento dei prodotti da parte dei consumatori

Tab. 1 - Alcuni standard normativi internazionali in materia di analisi sensoriale

oggettive tra prodotti, descriverne il profilo sensoriale e quantificare l'intensità di specifici attributi. Le metodiche di misura del panel sono l'esecuzione di test analitici, sia discriminanti che descrittivi, che richiedono precisione e standardizzazione, come quelli usati, ad esempio, per la classificazione degli oli di oliva vergini ed extravergini. Il Reg. CE n. 2568/91 ha reso obbligatoria l'analisi sensoriale condotta da giudici esperti (panel di assaggiatori esperti) attraverso la quale viene espresso un giudizio sulla qualità dell'olio che ha valore legale ai fini della etichettatura degli oli vergini ed extravergini di oliva, IGP e DOP. Il mancato superamento della prova di analisi sensoriale declassa l'olio da extravergine a vergine.

Gli assaggiatori registrano le sensazioni percepite durante una seduta di assaggio, lavorando in silenzio, in modo rilassato e non frettoloso e prestando la massima attenzione al campione in esame. Il capo panel è il responsabile della selezione, dell'addestramento e del controllo degli assaggiatori, nonché del funzionamento del panel. È il responsabile della ricezione, della codifica, della presentazione dei campioni agli assaggiatori secondo il disegno sperimentale adottato e della loro conservazione mantenendone l'anonimato per tutto il tempo. Ol-

tre a gestire la seduta di assaggio ed elaborare i risultati, la sua missione è motivare i componenti del gruppo, suscitando interesse e curiosità ed evitando di influenzare con la sua opinione.

I campioni vengono valutati attraverso la definizione e la quantificazione di alcuni attributi, definiti descrittori, che devono essere il più possibile oggettivi: selezionare la migliore terminologia è importante per tutte le tecniche di misurazione che usano un descrittore per definire la percezione sotto esame e per i test di classificazione. La definizione degli attributi da valutare deve essere quanto più vicina possibile alle reali proprietà chimiche e fisiche del prodotto in esame. Il descrittore deve essere discriminante (indicare una differenza percepibile tra i campioni), non ridondante e correlato ad un concetto di misura strumentale. Deve essere singolo, compreso in un intervallo definito, preciso e misurabile in riferimento ad uno standard (per esempio: la dolcezza di una soluzione di zucchero 3 g/l). Infine deve essere comunicabile, ovvero comprensibile ai fruitori.

La definizione dei descrittori è il momento in cui il gruppo panel si riunisce per selezionare le caratteristiche fondamentali del prodotto e ne decide la scala di misura (Tab. 1).

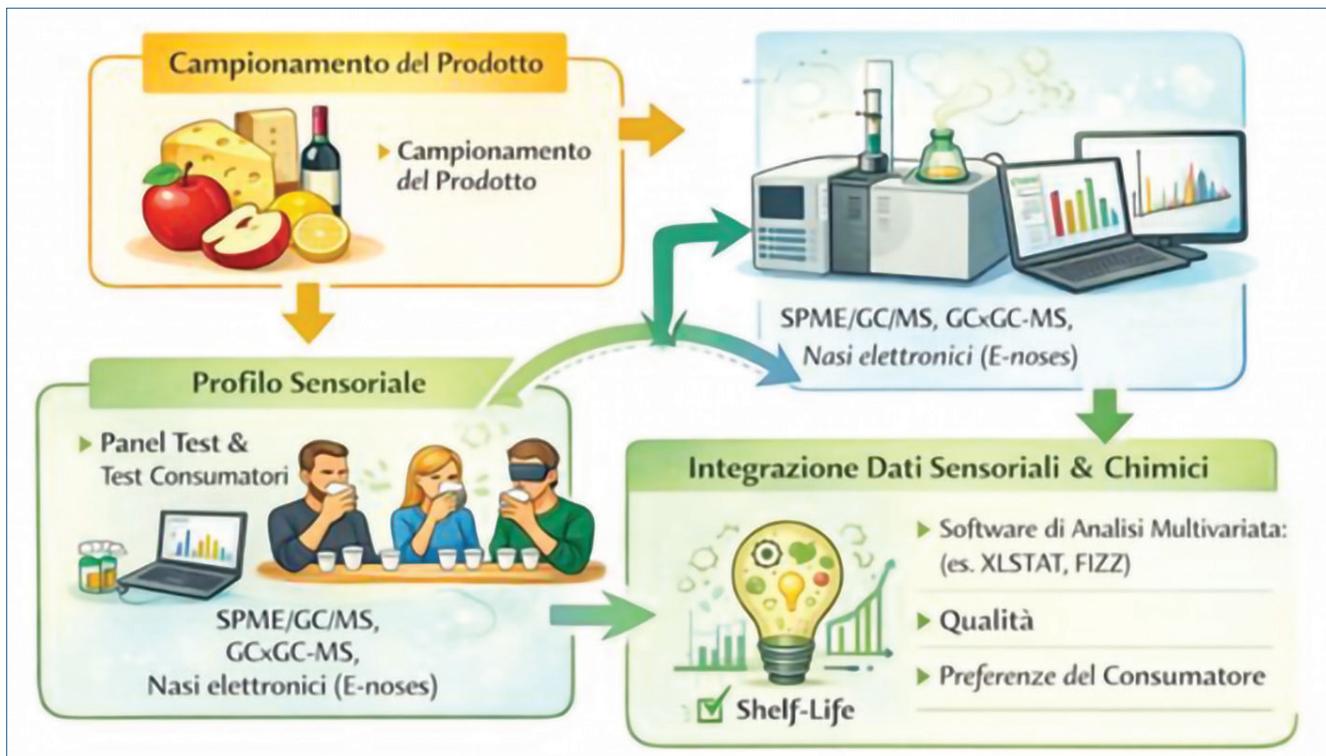


Fig. 3 - Integrazione dell'analisi sensoriale con il profilo chimico dei VOCs per ottimizzare la qualità e il successo di nuovi prodotti alimentari

L'analisi sensoriale, dunque, è un pilastro fondamentale per l'industria alimentare sia per la definizione che per il mantenimento di elevati standard di qualità.

Le norme internazionali assicurano che le analisi sensoriali siano condotte in modo scientifico, replicabile e oggettivo, supportando lo sviluppo, il controllo qualità e il marketing di prodotti alimentari, bevande, cosmetici e altro ancora.

In conclusione, l'analisi dei composti volatili in associazione alle scienze sensoriali rappresenta un approccio molto valido per la caratterizzazione della qualità degli alimenti. Tale metodica permette di comprendere quali composti volatili determinano la qualità di un alimento con la possibilità di ottimizzarne i fattori pre- e postharvest, i processi di trasformazione e i parametri di conservazione anche nello sviluppo di alimenti innovativi (Fig. 3).

BIBLIOGRAFIA

- [1] R. Goodacre, S. Vaidyanathan *et al.*, *Trends in Biotechnology*, 2004, **22**(5), 245.
- [2] Y. Yang *et al.*, *eFood*, 2025, **6**, 101234.
- [3] J.P. Betancourt-Arango, E.E. Villaroel-Solis *et al.*, *F1000Research*, 2024, **13**, 991.
- [4] J. Baggenstoss *et al.*, *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2008, **56**(9), 3345.
- [5] C. Su *et al.*, *Food Research International*, 2023, **164**, 112422.
- [6] S. Marzocchi *et al.*, *Food Chemistry*, 2019, **279**, 303.
- [7] M. Zoccali *et al.*, *TrAC Trends in Analytical Chemistry*, 2019, **115**, 226.
- [8] F. Huang, S. Gu, *Foods*, 2022, **11**(12), 1925.
- [9] W. Kessler, N. Strehmel *et al.*, *Analytical and Bioanalytical Chemistry*, 2015, **407**, 7015.
- [10] S. Mosikyan, R. Dolan *et al.*, *Appetite*, 2024, 107655.
- [11] A. Romano *et al.*, *Talanta*, 2016, **154**, 427.
- [12] E. Pittari *et al.*, *Food Chemistry*, 2021, **350**, 129237.
- [13] A.C. Soria, I. Martínez-Castro *et al.*, *Journal of Chromatography A*, 2015, **1420**, 1.

Volatile Compounds and Sensory Science for the Evaluation of Food Quality

Volatomics studies in association with sensory science represent a valid approach for the evaluation of food quality, allowing to optimize pre- and postharvest factors, food processes and storage parameters also for the development of novel foods.

