

# Biotecnologie per gli alimenti funzionali: piante, salute e innovazione

Dai nutrienti ai benefici mirati: l'ascesa degli alimenti funzionali, sempre più al centro dell'attenzione per il loro ruolo nella prevenzione delle malattie croniche e nel migliorare la qualità della vita.

DOI 10.12910/EAI2025-063

di Barbara Benassi, Maria Pierdomenico, Gianfranco Diretto, Sarah Frusciante, Maria Sulli – Dipartimento Sostenibilità, circolarità e adattamento al cambiamento climatico dei Sistemi Produttivi e Territoriali, Divisione BioTecnologie - ENEA

**N**egli ultimi decenni è cresciuto l'interesse verso gli alimenti funzionali, cioè quei prodotti che, oltre a fornire nutrienti essenziali, apportano benefici specifici alla salute, contribuendo alla prevenzione di malattie cronico-degenerative e al miglioramento della qualità della vita. Questi effetti sono dovuti ai composti bioattivi (probiotici, prebiotici, antiossidanti, acidi grassi polinsaturi, peptidi bioattivi, fitocomposti), presenti naturalmente o aggiunti agli alimenti. Le diete ricche di tali composti, come la dieta mediterranea, sono associate a una minore incidenza di malattie cardiovascolari, metaboliche, neurodegenerative e tumorali. Dal 2020 la ricerca ha compiuto notevoli progressi nell'identificazione dei bioattivi, nella comprensione dei loro effetti e nello sviluppo di tecnologie per integrarli nei cibi <sup>[1]</sup>. Le biotecnologie svolgono un ruolo centrale, consentendo di produrre e valorizzare molecole con un approccio orientato alla nutrizione personalizzata, che tenga conto di sesso, età e profilo genetico. Tra i settori più dinamici vi sono le biotecnologie vegetali, che permettono di ottimizzare la biosintesi e l'accumulo

di composti bioattivi in specie di interesse alimentare, insieme a tecniche di estrazione sostenibile che riduco-



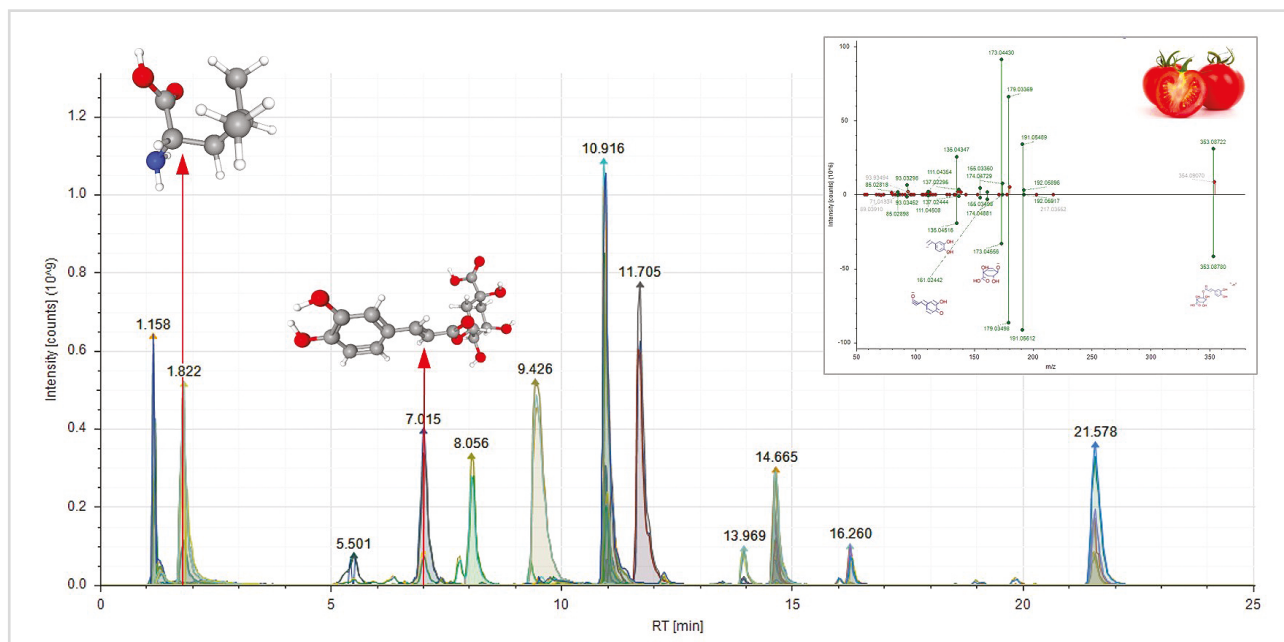
Figura 1 - Innovazione biotecnologica per la salute e la sostenibilità.

no l'uso di solventi e valorizzano sottoprodotti agroalimentari – bucce, vinacce, semi – in un'ottica di economia circolare e sostenibilità (Figura 1).

## Green – intervento su specie vegetali

Le biotecnologie Green rappresentano oggi uno degli strumenti più efficaci per migliorare il valore nutrizionale e funzionale degli alimenti, intervenendo direttamente sugli individui vegetali. Tale obiettivo può essere realizzato attraverso l'uso di approcci omici con (i) studio della naturale biodiversità con successiva

selezione delle linee a più alto contenuto di molecole di interesse; (ii) il miglioramento genetico tradizionale, con l'identificazione di caratteri genetici associati all'accumulo dei metaboliti benefici per la salute, con successiva introgressione in varietà commerciali; e, infine, (iii) con l'ingegneria metabolica e le nuove tecniche di miglioramento genetico avanzato, come l'editing mirato con CRISPR/Cas, attraverso le quali è possibile potenziare o rimodulare le vie biosintetiche che portano alla formazione di composti bioattivi – come carotenoidi, polifenoli, terpenoidi, fitosteroli – responsabili delle proprietà antiossidanti, antinfiammatorie e protettive di molti alimenti <sup>[1-4]</sup>. Queste strategie consentono di ottenere varietà vegetali e linee cellulari con un contenuto elevato e più stabile di molecole salutistiche, trasformando le piante in vere e proprie biofabbriche naturali di composti funzionali. Un esempio emblematico è offerto dalla varietà "Tomaffron", un pomodoro ingegnerizzato per accumulare apocarotenoidi dello zafferano come crocine e picrocrocine, dimostrando come l'ingegneria metabolica possa trasformare una pianta alimentare



un esempio i modelli sperimentali di cellule intestinali, impiegate per valutare l'assorbimento e la biodisponibilità degli estratti, o di cellule epatiche, che consentono di indagare i processi di biotrasformazione di fase I e II e di comprendere le vie molecolari attraverso cui gli alimenti funzionali possono modulare l'attività enzimatica, lo stato redox cellulare e la risposta infiammatoria. Tali approcci consentono, inoltre, di valutare la sicurezza e l'efficacia di specifici composti a livello epatico, fornendo informazioni cruciali per la definizione del loro potenziale nutrigenomico. In questo contesto, in ENEA è stato dimostrato come un estratto di nocciola (*Corylus avellana* L) o di bergamotto (*Citrus bergamia*, *C. bergamia*) siano in grado di stimolare il metabolismo lipidico epatico contribuendo alla riduzione del colesterolo [3-6]. Altri estratti, come quelli di melograno (*Punica granatum* L) e fico d'india (*Opuntia ficus indica*), sono stati oggetto di recenti

studi ENEA volti a valutarne il potenziale antiinfiammatorio ed epatoprotettivo, grazie alla capacità di inibire l'espressione genica di citochine infiammatorie e di regolare geni legati a infiammazione e stress ossidativo [7,8]. Infine, la sperimentazione in vivo, condotta sia su modelli animali da laboratorio sia nell'ambito di protocolli clinici, consente di valutare gli effetti sistemici degli alimenti funzionali su parametri fisiologici (profilo lipidico, glucosio, infiammazione, stress ossidativo, capacità cognitive) [9]. Gli studi clinici sull'uomo sono fondamentali per confermare sicurezza, efficacia e impatto a lungo termine sull'equilibrio metabolico e sullo stato di salute.

### Conclusioni

L'integrazione tra biotecnologie green e red consente di sviluppare alimenti funzionali più efficaci, sicuri e sostenibili. Le piante diventano non solo fonti di nutrienti e composti benefici, ma anche piattaforme biotec-

nologiche per produrre molecole con specifiche funzioni salutistiche. Le biotecnologie red, invece, permettono di verificare scientificamente gli effetti di questi composti sull'organismo umano, tramite modelli cellulari, studi computazionali e clinici. La sinergia tra questi due settori favorisce la creazione di nuovi prodotti e strategie per prevenire malattie croniche e promuovere il benessere, in un'ottica di alimentazione personalizzata, etica e sostenibile. In questo contesto, l'ENEA svolge un ruolo chiave nel promuovere la collaborazione tra biotecnologia, nutrizione e salute pubblica, seguendo l'approccio One Health, che riconosce il legame tra la salute di uomo, piante e ambiente.

per info: [barbara.benassi@enea.it](mailto:barbara.benassi@enea.it)

### Bibliografia

1. Mekinić, I.G. & Šimat, V. (2025). Bioactive Compounds in Foods: New and Novel Sources, Characterization, Strategies, and Applications. *Foods*, 14, 1617. <https://doi.org/10.3390/foods14091617>
2. Diretto, G., Welsch, R., Tavazza, R., Mourgues, F., Pizzichini, D., Beyer, P., Giuliano, G. (2007). Metabolic engineering of potato tuber carotenoids through tuber-specific silencing of lycopene  $\epsilon$ -cyclase. *BMC Plant Biology*, 7, 11. <https://doi.org/10.1186/1471-2229-7-11>
3. Diretto, G., Frusciante, S., Fabbri, C., Schauer, N., Busta, L., Wang, Z., Matas, A.J., et al. (2020). Manipulation of  $\beta$ -carotene levels in tomato fruits results in increased ABA content and extended shelf life. *Plant Biotechnology Journal*, 18(5), 1185-1199. <https://doi.org/10.1111/pbi.13283>
4. Sulli, M., Mandolino, G., Sturaro, M., Onofri, C., Diretto, G., Parisi, B., & Giuliano, G. (2017). Molecular and biochemical characterization of a potato collection with contrasting tuber carotenoid content. *PLoS One*, 12(9), e0184143. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0184143>
5. Gianoglio, S., Comino, C., Moglia, A., Acquadro, A., García-Carpintero, V., Diretto, G., et al. (2023). In-depth characterization of green flesh tomato mutants obtained by CRISPR/Cas9 editing. *Frontiers in Plant Science*, 13, 936089. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.936089>
6. Ahrazem, O., Diretto, G., Rambla, J.L., Rubio-Moraga, Á., Lobato-Gómez, M., Gómez-Gómez, L. (2022). Engineering high levels of saffron apocarotenoids in tomato. *Horticulture Research*, 9, uhac074. <https://doi.org/10.1093/hr/uhac074>
7. Frusciante, S., Demurtas, O.C., Pietrella, M., Diretto, G., Gómez-Gómez, L., Giuliano, G. (2022). Heterologous expression of Bixa orellana cleavage dioxygenase 4-3 drives crocin but not bixin biosynthesis. *Plant Physiology*, 188(3), 1469-1482. <https://doi.org/10.1093/plphys/kiab583>
8. Morote, L., Lobato-Gómez, M., Ahrazem, O., Argandoña, J., Diretto, G., Gómez-Gómez, L. (2023). Crocins-rich tomato extracts showed enhanced protective effects in vitro. *Journal of Functional Foods*, 101, 105432. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2023.105432>
9. Dono, G., Rambla, J.L., Frusciante, S., Diretto, G., et al. (2020). Color mutations alter the biochemical composition in the San Marzano tomato fruit. *Metabolites*, 10(3), 110. <https://doi.org/10.3390/metabo10030110>
10. Sulli, M., Barchi, L., Toppino, L., Diretto, G., Sala, T., Lanteri, S., Rotino, G.L. (2021). An eggplant recombinant inbred population allows the discovery of metabolic QTLs controlling fruit nutritional quality. *Frontiers in Plant Science*, 12, 638195. <https://doi.org/10.3389/fpls.2021.638195>
11. Mellidou, I., Koukounaras, A., Frusciante, S., Rambla, J.L., Patelou, E., Diretto, G., et al. (2023). A metabolome and transcriptome survey to tap the dynamics of fruit prolonged shelf-life and improved quality within Greek tomato germplasm. *Frontiers in Plant Science*, 14, 1267340. <https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1267340>