

# La spettroscopia laser per la qualità e sicurezza alimentare di prodotti ortofrutticoli

M. Falconieri, M. Sighicelli

Negli ultimi decenni, la richiesta e il consumo crescente di prodotti alimentari di qualità hanno motivato la ricerca e lo sviluppo di nuove soluzioni tecnologiche in campo agroalimentare. L'applicazione di metodi e sistemi tecnologicamente avanzati ha garantito il raggiungimento, lungo tutta la filiera, di elevati standard di qualità e di sicurezza degli alimenti, così come la loro disponibilità, accessibilità, stabilità e utilizzo: le quattro componenti principali della *Food Security*.

In campo ortofrutticolo, ad esempio, è di fondamentale importanza, sia in fase di raccolta sia di post-raccolta, la diagnosi precoce di stress causati da molteplici fattori biotici (attacco di patogeni, come batteri, virus, funghi, insetti) e abiotici (tra cui variazioni di temperatura, salinità, deficit idrico, ferite da danni meccanici). Nella fase di post-raccolta è indispensabile monitorare lo stato di salute dei prodotti deperibili trasportati poiché diversi fattori influenzano le caratteristiche organolettiche e nutrizionali dei prodotti, e l'insieme delle reazioni metaboliche attivate durante il processo di maturazione porta a una serie di importanti modifiche dell'organismo vegetale. Perciò, l'analisi dei principali fattori che concorrono a ridurre i parametri di qualità dei prodotti agroalimentari e lo studio della loro evoluzione dopo la raccolta sono attività fondamentali per sviluppare e implementare soluzioni tecnologiche opportune per una corretta gestione, e per prolungare la *shelf-life*, anche per motivi di sostenibilità economica e ambientale.

La composizione chimico-fisica dei materiali biologici e le sue variazioni, dovute a differenti stati fisiologici e metabolici, possono convenientemente essere investigate con metodi ottici e spettroscopici. Tra i diversi cambiamenti metabolici, in seguito ad uno stress ossidativo, si osserva, ad esempio, l'alterazione dei pigmenti fotosintetici, che non appare uniforme su tutta la superficie, data la presenza sia di cellule direttamente colpite sia di quelle non direttamente coinvolte, ma che risentono della risposta locale e prendono parte ad una risposta sistemica da parte dell'intero frutto o pianta. Pertanto, è ormai possibile correlare le caratteristiche degli spettri di assorbimento, riflettanza e fluorescenza al grado di maturazione o all'alterazione patologica in fase latente di frutti e piante.

L'ENEA è da anni impegnata in attività di ricerca finalizzate allo sviluppo di strumentazione e all'applicazione di metodi spettroscopici per il monitoraggio e la diagnostica precoce e non distruttiva dello stato di salute di piante e della qualità di prodotti agroalimentari. Oltre alle tecniche di spettroscopia più comuni (come la spettroscopia infrarossa in trasformata di Fourier, le spettroscopie di trasmittanza e riflettanza nel visibile e vicino infrarosso, e la spettroscopia di fotoluminescenza), il cui utilizzo nel settore dell'agroindustria è ampiamente documentato nella letteratura scientifica, particolare attenzione è stata recentemente rivolta alla spettroscopia Raman e alla spettroscopia di riflettività risolta nel tempo (*time-resolved reflectivity spectroscopy, TRRS*) con laser ad impulsi ultracorti (nel dominio delle centinaia di femtosecondi,  $10^{-15}$  s).

La potenzialità offerta dalla spettroscopia Raman, come tecnica non invasiva e non distruttiva per il controllo dello stato di salute e qualità dei prodotti ortofrutticoli, è stata valutata nel corso di numerose sperimentazioni realizzate nel laboratorio di spettroscopia laser presso il Centro Ricerche Casaccia dell'ENEA. Poiché lo spettro

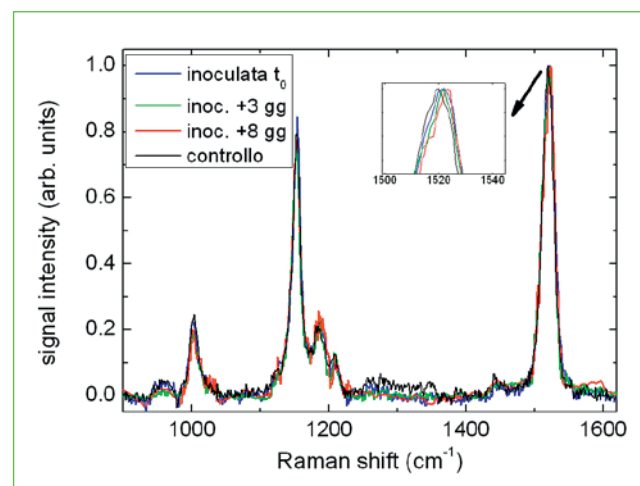


Figura 1  
Le bande Raman relative al  $\beta$ -carotene misurate sulla buccia di un mandarino. Piccole ma significative differenze emergono col passare del tempo nel frutto inoculato con un ceppo fungino nella banda attorno a  $1520\text{ cm}^{-1}$ , come mostrato nell'inserto

tro Raman è in grado di fornire informazioni sulle caratteristiche strutturali e sulla composizione chimica dei pigmenti (carotenoidi, clorofille e flavonoidi) presenti sulla superficie dei diversi campioni di frutta monitorati, esso può avere un ruolo diagnostico di molecole specifiche. In particolare, il  $\beta$ -carotene, ad esempio, sembra essere utilizzabile come *bio-marker* in frutti di mandarino in presenza di un attacco fungino (Figura 1). Negli ultimi due anni l'attività di ricerca sviluppata in ENEA, nell'ambito di alcuni progetti nazionali nel settore agroindustriale, è stata rivolta all'analisi delle proprietà ottiche di volume all'interno di materiali diffusi-

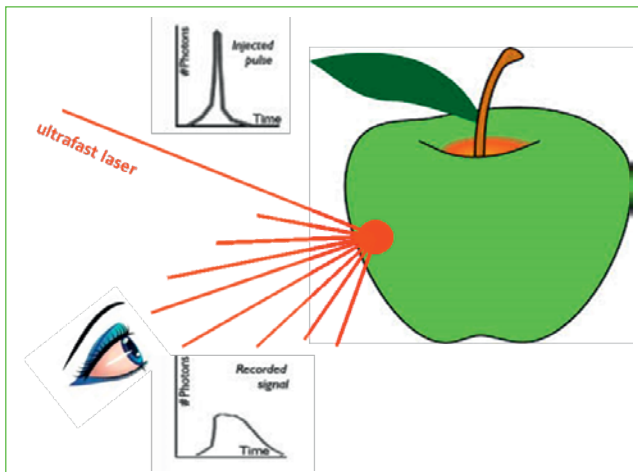


Figura 2  
Analizzando l'allargamento che un impulso laser infrarosso ultracorto subisce viaggiando in un campione biologico, si possono ottenere informazioni sui coefficienti ottici di diffusione e assorbimento all'interno del campione

vi come i prodotti ortofrutticoli (Figura 2) mediante la TRRS, che fa uso di sorgenti laser ad impulsi ultracorti e di sistemi optoelettronici di acquisizione di segnali ottici veloci e debolissimi, con la tecnica del *time-correlated single-photon counting*.

L'utilità della TRRS è legata alla capacità di fornire una caratterizzazione non distruttiva della polpa del prodotto in termini del coefficiente di assorbimento, legato ai costituenti presenti nel tessuto vegetale (ad esempio l'acqua o gli zuccheri), e del coefficiente di diffusione, legato principalmente alla struttura del frutto (consistenza, durezza). Nel corso della sperimentazione, si è posta l'attenzione sull'analisi della cinetica di degradazione dei campioni di ortofrutta e sul contemporaneo monitoraggio dello sviluppo di composti prodotti nelle diverse condizioni di conservazione e confezionamento durante il trasporto.

Le prospettive di sviluppo di questa attività di ricerca sono quelle di ottimizzare l'integrazione delle informazioni ottenute con le tecniche ottiche e spettroscopiche con quelle derivanti dalle tecniche analitiche standard, e di correlare i risultati delle analisi distruttive e non distruttive con i parametri di qualità.

*Gli autori ringraziano per il supporto fornito il dott. Stefano Canese (ENEA, Supporto Tecnico Strategico del Dipartimento Sostenibilità dei Sistemi Produttivi e Territoriali).*

Per approfondimenti: mauro.falconieri@enea.it

**Mauro Falconieri**  
ENEA, Divisione Tecnologie fisiche per la sicurezza e la salute

**Maria Sighicelli**  
ENEA, Divisione Protezione e valorizzazione del territorio e del capitale naturale