



Finanziatore	Regione Lombardia
Bando	Bando 2018 per Progetti di ricerca in campo agricolo e forestale – d.d.s. n. 4403 del 28/03/2018 – Scorrimento della graduatoria, d.d.s. 2955/2020
Titolo	Economia circolare e sostenibilità della filiera della pera IGP del Mantovano
Acronimo	ESPERA
Numero identificativo	17

D23 DIMOSTRAZIONE DI UN PROTOTIPO INNOVATIVO PER MISURE OTTICHE NON DISTRUTTIVE DEL GRADO DI MATURAZIONE ADATTABILE ALLE LINEE DI SELEZIONE DEI FRUTTI

Work Package	WP2
Responsabile	Lorenzo Spinelli (CNR-IFN)
Partecipanti	CNR-IFN, POLIMI-DFIS
Classificazione	CO (Confidenziale)
Data	28/10/2023
Versione	1.1

Versioni

Versione	Data	Commenti	Autori
1.0	27/10/2023	Versione preliminare	L.Spinelli (CNR-IFN)
1.1	28/10/2023	Revisione	A.Torricelli (POLIMI-DFIS)

Dichiarazione di originalità:

Questo rapporto contiene materiale originale non pubblicato precedentemente, eccetto dove diversamente indicato mediante citazioni e riferimenti bibliografici.

Le attività che hanno condotto a questi risultati hanno ricevuto finanziamento da Regione Lombardia nell'ambito del bando Bando 2018 per Progetti di ricerca in campo agricolo e forestale – d.d.s. n. 4403 del 28/03/2018.

The information in this document is provided "as is", and no guarantee or warranty is given that the information is fit for any particular purpose. The above referenced consortium members shall have no liability for damages of any kind including without limitation direct, special, indirect, or consequential damages that may result from the use of these materials subject to any liability which is mandatory due to applicable law.

Indice

1.	RIEPILOGO GENERALE.....	4
2.	INTRODUZIONE	5
3.	CONTENUTO	6
	Selezione dei frutti misurati	6
	Strumenti per misure TRS	6
	Analisi dei dati	6
	Risultati delle misure TRS	6
4.	CONCLUSIONE E SVILUPPI FUTURI	9

Lista delle figure

Fig 1: Schema (a) e foto (b) dello strumento commerciale NIRSBX utilizzato per le misure TRS sui frutti.

Fig 2: Valori dei coefficienti di assorbimento delle 40 pere riportati in funzione della lunghezza d'onda misurati dal sistema TRS allo "stato dell'arte" (a sinistra), dal prototipo non-contact (al centro) e dal sistema NIRSBX (a destra).

Fig 3: Valori dei coefficienti di diffusione delle 40 pere riportati in funzione della lunghezza d'onda misurati dal sistema TRS allo "stato dell'arte" (a sinistra), dal prototipo non-contact (al centro) e dal sistema NIRSBX (a destra).

Fig 4: Valori medi (pallini colorati) e deviazioni standard (linee orizzontali e verticali) dei coefficienti di diffusione in funzione dei coefficienti di assorbimento calcolati sulle 20 pere "meno mature" (pallini arancione, giallo e verde) e sulle 20 pere "più mature" (pallini blu, grigio e azzurro), misurati a 670/671 nm dal sistema TRS allo "stato dell'arte" (pallini arancione e blu), dal prototipo non-contact (pallini giallo e grigio) e dal sistema NIRSBX (pallini verde e azzurro).

Lista della letteratura citazione

[1] Lacerenza, M., Buttafava, M., Renna, M., Dalla Mora, A., Spinelli, L., Zappa, F., Pifferi, A., Torricelli, A., Tosi, A., and Contini, D. (2020). Wearable and wireless time-domain near-infrared spectroscopy system for brain and muscle hemodynamic monitoring. *Biomedical Optics Express* **11**, 5934-5949.

[2] Martelli, F., Delbianco, S., Ismaelli, A., and Zaccanti, G. (2009). *Light Propagation through Biological Tissue and Other Diffusive Media: Theory, Solutions, and Software* (Bellingham, Washington, USA: SPIE Press).

[3] Fang, Q., and Boas, D. (2009). Monte Carlo Simulation of Photon Migration in 3D Turbid Media Accelerated by Graphics Processing Units. *Optics Express* **17**, 20178-20190.



1. Riepilogo generale

L'obiettivo del Task 2.3 del progetto ESPERA è quello di verificare le prestazioni del nuovo prototipo per misure TRS non-contact sviluppato nell'ambito del progetto, quando utilizzato per la stima delle proprietà ottiche e del grado di maturazione dei frutti presso una linea di selezione dei frutti. In particolare, per cominciare, il prototipo è stato testato in laboratorio, utilizzando un batch di pere "Abate Fetel" appositamente selezionato durante la seconda campagna di misure. I risultati ottenuti sono stati quindi confrontati con quelli ottenuti con lo strumento TRS impiegato nelle campagne di misura del progetto e con un altro strumento più compatto.

2. Introduzione

Un prototipo per la realizzazione di misure di spettroscopia ottica risolta nel tempo (TRS) a distanza, cioè in assenza di contatto con il campione da misurare, è stato progettato, sviluppato e validato in una collaborazione tra il Dipartimento di Fisica del Politecnico di Milano (POLIMI DFIS) e l'Istituto di Fotonica e Nanotecnologie del CNR (IFN-CNR) (vedi risultati riportati nella Deliverable 2.2). Le prestazioni di tale prototipo sono quindi state testate in laboratorio su un batch selezionato di pere "Abate Fetel" utilizzate durante la seconda campagna di misura di questo progetto. Al fine di dimostrare le capacità del prototipo di determinare il grado di maturazione dei frutti, i risultati ottenuti sono stati confrontati con quelli ricavati mediante lo strumento TRS allo "stato dell'arte" (vedi Deliverable D2.1) utilizzato per tutte le campagne di misura sulle pere IGP del Mantovano delle varietà "Abate Fetel" e "Conference" considerate in questo progetto. Sempre nell'ottica di una migliore ingegnerizzazione della tecnologia TRS verso un suo utilizzo industriale nelle linee di selezione dei frutti o anche in altri ambiti, sono state effettuate misure di confronto anche utilizzando una versione adattata di dispositivo commerciale per misure TRS (NIRSBOX, PIONIRS s.r.l., Milano, Italia), funzionante in modalità a contatto come lo strumento allo "stato dell'arte", ma di dimensioni così contenute da poterne prospettare anche l'utilizzo in applicazioni sul campo.

3. Contenuto

Selezione dei frutti misurati

Quattrocento ottanta pere “Abate Fetel” provenienti dalla zona di Indicazione Geografica Protetta (IGP) della provincia di Mantova sono state misurate in modo non distruttivo al momento della raccolta lo strumento TRS allo “stato dell’arte” (vedi Deliverable D2.1) alla lunghezza d’onda di 671 nm. Le pere sono state quindi suddivise in diversi batch all’interno dei quali erano presenti tre classi di maturità (meno, media e più matura). Per questa prova, sono state selezionate 20 pere classificate come meno mature e 20 pere classificate come più mature appartenenti a un batch conservato per 21 settimane in atmosfera controllata (8-12 kPa di O₂ e 1 kPa di CO₂) a -1°C. Tutte le 40 pere sono state misurate dopo 7 giorni di *shelf-life* a 20°C.

Strumenti per misure TRS

I frutti selezionati sono stati misurati sia con lo strumento TRS allo “stato dell’arte”, la cui descrizione è riportata nella Deliverable D2.1, che con il prototipo non-contact sviluppato all’interno di questo progetto, la cui descrizione è riportata nella Deliverable D2.2.

Per le misure è stata inoltre utilizzata una versione personalizzata dello strumento commerciale NIRSBX (PIONIRS s.r.l., Milano, Italia) costituito da un dispositivo a doppia lunghezza d’onda, 670 e 830 nm, e singolo canale [1]. Tale strumento TRS caratterizzato da un layout compatto e un basso consumo energetico e può essere alimentato a batteria. Uno schema dello strumento e una foto dello stesso sono mostrati in Figura 1. Il modulo di iniezione si basa su due diodi laser impulsati a 53 MHz. La luce viene iniettata e raccolta dal campione mediante fibre ottiche. L’impulso raccolto viene quindi focalizzato su un rilevatore ad area larga. La risposta del sistema dello strumento ha una larghezza inferiore a 200 ps.

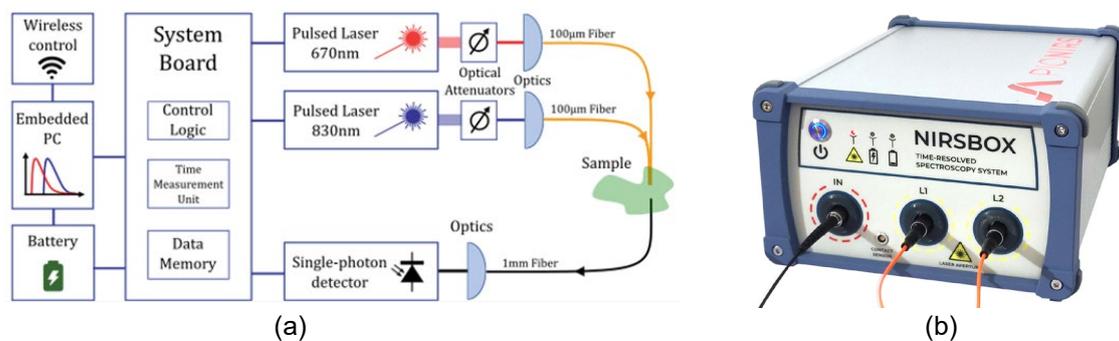


Fig 1: Schema (a) e foto (b) dello strumento commerciale NIRSBX utilizzato per le misure TRS sui frutti.

Analisi dei dati

Le misure TRS vengono analizzate tramite un software sviluppato appositamente basato su una procedura di adattamento non lineare, che fornisce i valori dei coefficienti di assorbimento e di diffusione ridotti dei campioni misurati. Come modello per la descrizione della propagazione dei fotoni in mezzi diffusivi è stata usata la soluzione dell’Equazione della Diffusione per un mezzo omogeneo semi-infinito [2] nel caso degli strumenti che effettuano le misure TRS mediante fibre ottiche, mentre è stato sfruttato un codice Monte Carlo [3] per descrivere un mezzo sferico, nel caso del prototipo *non-contact*.

Risultati delle misure TRS

I coefficienti di assorbimento e di diffusione dei 40 frutti in funzione della lunghezza d’onda

recuperata dai tre dispositivi TD NIRS sono mostrati rispettivamente in Figura 2 e Figura 3. Notiamo come, per tutti e tre gli strumenti, i valori del coefficiente di assorbimento a 671 nm siano distribuiti tra 0.03 e 0.16 cm^{-1} , evidenziando un diverso contenuto di clorofilla delle pere, come previsto per pere a diversi stadi di maturazione. Notiamo inoltre come tutti i valori del coefficiente di assorbimento a 780 nm o 830 nm siano intorno a 0.05 cm^{-1} : anche questo è un risultato previsto, poiché tutti i costituenti del frutto presentano un assorbimento molto basso a questa lunghezza d'onda. Infine, i valori del coefficiente di assorbimento misurati a 940 nm sono molto simili tra i frutti intorno a 0.16 cm^{-1} : ciò è dovuto alla ridotta variabilità del contenuto di acqua delle pere.

Per quanto riguarda il coefficiente di diffusione possiamo osservare come esso risulti praticamente indipendente dalla lunghezza d'onda, con valori misurati dai 3 strumenti compresi tra 12 e 24 cm^{-1} .

Consideriamo ora i dati acquisiti per il coefficiente di assorbimento a 670/671 nm, poiché sono quelli più significativi per la valutazione della qualità delle pere, essendo legati al loro contenuto di clorofilla, cioè al loro stadio di maturazione. In Figura 4 riportiamo media e deviazione standard dei valori delle proprietà ottiche misurate dai tre strumenti sulle due classi di maturazione delle pere. Dalla figura si evince come la differenza media del coefficiente di assorbimento a 670/671 nm tra pere "meno mature" e "più mature", su cui si è basata la classificazione stessa al momento della raccolta, si mantiene durante la conservazione per diversi mesi. Possiamo notare, inoltre, come lo strumento NIRSBOX fornisca valori delle proprietà ottiche in linea con quelli forniti dal sistema TRS allo "stato dell'arte", mentre i valori misurati dal prototipo non-contact risultano sottostimati: quest'ultimo approccio infatti è il più critico e necessita di un ulteriore sviluppo del prototipo per migliorarne precisione e accuratezza.

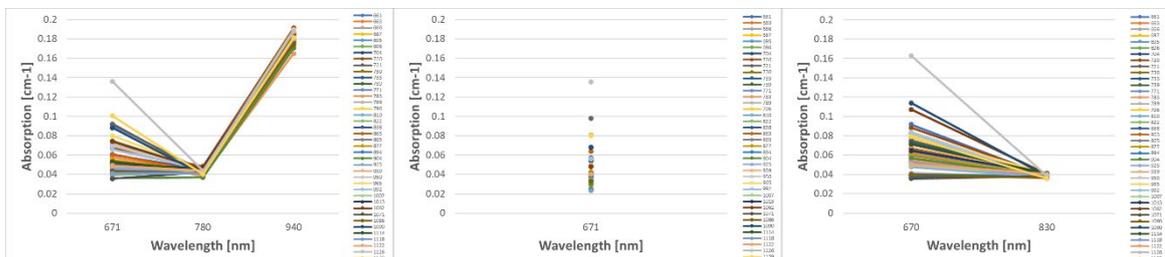


Fig 2: Valori dei coefficienti di assorbimento delle 40 pere riportati in funzione della lunghezza d'onda misurati dal sistema TRS allo "stato dell'arte" (a sinistra), dal prototipo *non-contact* (al centro) e dal sistema NIRSBOX (a destra).

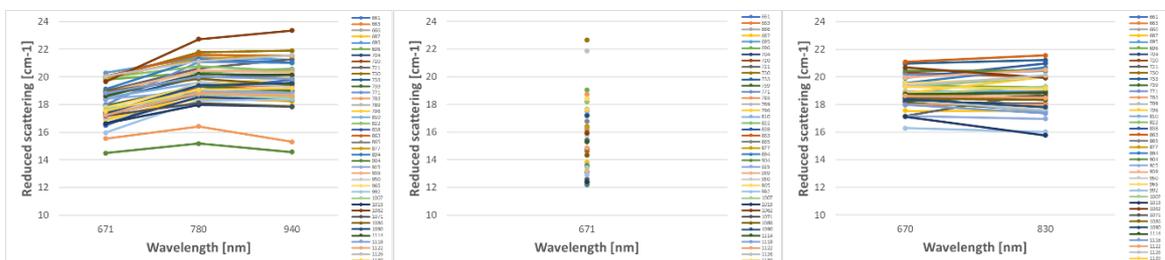


Fig 3: Valori dei coefficienti di diffusione delle 40 pere riportati in funzione della lunghezza d'onda misurati dal sistema TRS allo "stato dell'arte" (a sinistra), dal prototipo *non-contact* (al centro) e dal sistema NIRSBOX (a destra).

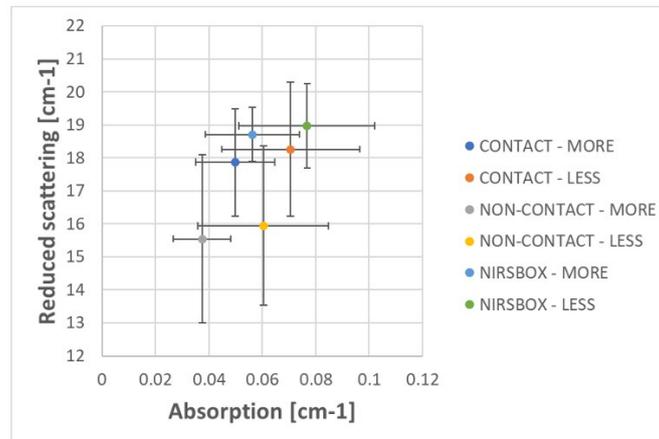


Fig 4: Valori medi (pallini colorati) e deviazioni standard (linee orizzontali e verticali) dei coefficienti di diffusione in funzione dei coefficienti di assorbimento calcolati sulle 20 pere “meno mature” (pallini arancione, giallo e verde) e sulle 20 pere “più mature” (pallini blu, grigio e azzurro), misurati a 670/671 nm dal sistema TRS allo “stato dell’arte” (pallini arancione e blu), dal prototipo *non-contact* (pallini giallo e grigio) e dal sistema NIRSBOX (pallini verde e azzurro).

4. Conclusione e sviluppi futuri

Le prestazioni del prototipo per misure di spettroscopia ottica risolta nel tempo con approccio di misura a distanza sviluppato nell'ambito del progetto sono state testate in laboratorio su un batch selezionato di pere "Abate Fetel" utilizzate durante la seconda campagna di misura del progetto, per dimostrarne le capacità di determinare il grado di maturazione dei frutti. I risultati ottenuti, in particolare la capacità di discriminare pere classificate come "meno mature" da quelle classificate come "più mature", sono in linea con quanto osservato mediante lo strumento TRS allo "stato dell'arte" utilizzato nel progetto. È stato inoltre testata una versione adattata di un dispositivo commerciale per misure TRS. Tale strumento è caratterizzato da un layout compatto e un basso consumo energetico, proprietà che lo rendono interessante per applicazioni che richiedono misure sul campo.

Nonostante i risultati ottenuti mediante il prototipo sviluppato siano promettenti, allo stato attuale il dispositivo non è ancora idoneo per una sua implementazione a livello industriale nelle linee di selezione dei frutti, che rimane il vero e ultimo obiettivo della ricerca nel settore del controllo della qualità interna della frutta nel post-raccolta. Il risultato ottenuto in questo progetto con la dimostrazione della possibilità di effettuare misure TRS *non-contact* affidabili sui frutti risulta in ogni caso molto importante per il conseguimento di questo obiettivo: in futuro occorrerà lavorare per migliorare il prototipo sia sotto l'aspetto della precisione e accuratezza della misura, sia sotto l'aspetto dell'ingegnerizzazione dello stesso.