



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

D22 PROGETTAZIONE, SVILUPPO E CARATTERIZZAZIONE DI UN PROTOTIPO INNOVATIVO PER MISURE NON-CONTACT DI SPETTROSCOPIA OTTICA RISOLTE NEL TEMPO

Work Package	WP2
Responsabile	Lorenzo Spinelli (CNR-IFN)
Partecipanti	CNR-IFN, POLIMI-DFIS
Classificazione	CO (Confidenziale)
Data	12/07/2023
Versione	1.1

Versioni

Versione	Data	Commenti	Autori
1.0	11/07/2023	Versione preliminare	L.Spinelli (CNR-IFN)
1.1	12/07/2023	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
	Prototipo per misure TRS <i>non-contact</i>	6
	Validazione del prototipo per misure TRS <i>non-contact</i>	8
4.	CONCLUSIONE E SVILUPPI FUTURI	10

Lista delle figure

Fig 1: Schema del prototipo per misure TRS non-contact. SC450: laser supercontinuo; GRIN: graded-index; SYNC: segnale di sincronismo; CFD: segnale di controllo; SPC-130: scheda per il conteggio di singolo fotone correlato nel tempo; HPMT: rivelatore ibrido.

Fig 2: Immagine della scatola di misura del prototipo, dove si può vedere la fibra ottica collegata al collimatore per l'illuminazione del campione, il sistema di raccolta della luce emessa dal campione, il rivelatore e la paratia nera utilizzata per minimizzare la quantità di luce riflessa dal campione raccolta direttamente dal sistema di rivelazione.

Fig 3: Risultato dello studio di ray-tracing effettuato con il software Zemax effettuato per determinare la configurazione di lenti che massimizzasse la luce incidente sul rivelatore. **S**: campione; **L₁**, **L₂**, **L₃**: lenti asferiche; **D**: rivelatore.

Fig 4: Risultati delle misure effettuate con il prototipo sviluppato per misure TRS *non-contact*: il valore misurato del coefficiente di assorbimento (a) e del coefficiente di diffusione ridotto (b) è riportato al variare del campione considerato. Nei grafici sono riportati anche i valori nominali corrispondenti.

Fig 5: Risultati delle misure di linearità effettuate con il prototipo sviluppato per misure TRS *non-contact*: il valore del coefficiente di assorbimento (a) e del coefficiente di diffusione ridotto (b) misurato è riportato al variare del valore nominale del campione considerato. Nei grafici sono riportate anche le rette che meglio interpolano i dati e le corrispondenti equazioni.

1. Riepilogo generale

L'obiettivo del Task 2.2 del progetto ESPERA è quello di progettare, sviluppare e caratterizzare un prototipo innovativo per misure ottiche non distruttive del grado di maturazione adattabile alle linee di selezione dei frutti. Per questo scopo si è deciso di progettare una sonda per misure TRS che funzioni in modo affidabile in condizioni di assenza di contatto col frutto, ottimizzando l'efficienza di illuminazione e di raccolta del segnale. Questa modalità di misura *non-contact* permette alla sonda TRS di adattarsi alle esigenze di operatività sulle linee di selezione dei frutti.

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 e sviluppato 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). Dopo la sua realizzazione, che ha comportato in particolare l'ottimizzazione dell'ottica per la raccolta del segnale proveniente dal campione, il prototipo è stato validato mediante l'uso di fantocci solidi, che imitano le proprietà ottiche dei tessuti biologici, in modo da verificarne la capacità di valutare il coefficiente di assorbimento e il coefficiente di dispersione ridotto dei campioni misurati. Questa modalità di misura TRS *non-contact* promette di essere un passo ulteriore verso l'implementazione di questa tecnica di valutazione non distruttiva della qualità dei frutti sulle moderne linee di selezione dei frutti.

3. Contenuto

Prototipo per misure TRS *non-contact*

Il prototipo per misure TRS in assenza di contatto è stato sviluppato 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). In particolare, lo strumento è costituito da un laser supercontinuo (SC450-6W, Fianium, UK) come sorgente luminosa di luce bianca, che fornisce impulsi di durata di decine di picosecondi, regolabili in potenza mediante un attenuatore variabile. La selezione della lunghezza d'onda nell'intervallo spettrale 540-1064 nm è effettuata mediante due ruote portafiltri caricate con 14 filtri interferenziali passa-banda. Per illuminare il campione, l'uscita del laser è accoppiata ad una fibra ottica *graded-index* da 62.5 μm di diametro collegata a un collimatore montato a 10 cm di distanza dal campione. Un polarizzatore lineare posto di fronte al collimatore filtra l'impulso di luce collimato prima che raggiunga il campione. Il collimatore e il polarizzatore sono alloggiati in una scatola di misurazione, che contiene una piattaforma rotante in modo da poter adottare diverse configurazioni di misurazione (ad esempio, riflettanza, trasmittanza, trans-riflettanza). Il campione viene posizionato al centro della piattaforma rotante. All'interno della scatola di misurazione è alloggiato anche il modulo per la rivelazione della luce uscente dal campione. Il sistema di rivelazione è posto a 20 cm di distanza dal campione ed è costituito da una serie di lenti, due polarizzatori lineari, incrociati rispetto a quello presente nel modulo di iniezione in modo da minimizzare la quantità di luce diretta, e un filtro interferenziale centrato a 671 nm, in modo da valutare il contenuto di clorofilla del campione. La luce raccolta viene quindi focalizzata su un rivelatore ibrido (PMA HYBRID-50, PicoQuant GmbH, Germania). La distribuzione del tempo di volo dei fotoni raccolti è misurata da una scheda per il conteggio di singolo fotone correlato nel tempo (SPC-130, Becker & Hickl, Germania). In Fig. 1 è riportato lo schema del prototipo realizzato. In particolare, per evitare ulteriormente il disturbo della luce diretta proveniente dal laser di illuminazione del campione, il sistema di rivelazione è schermato mediante una paratia nera posizionata tra il campione e il primo elemento ottico del sistema di rivelazione (vedi Fig. 2, dove è riportata una foto della scatola di misura). Riportiamo infine in Fig. 3 un dettaglio dello studio fatto con il software Zemax del sistema ottico di raccolta della luce, atto a massimizzare la quantità di luce raccolta dal rivelatore. Con tale sistema di rivelazione si è raggiunta un'efficienza di circa il 4.9%.

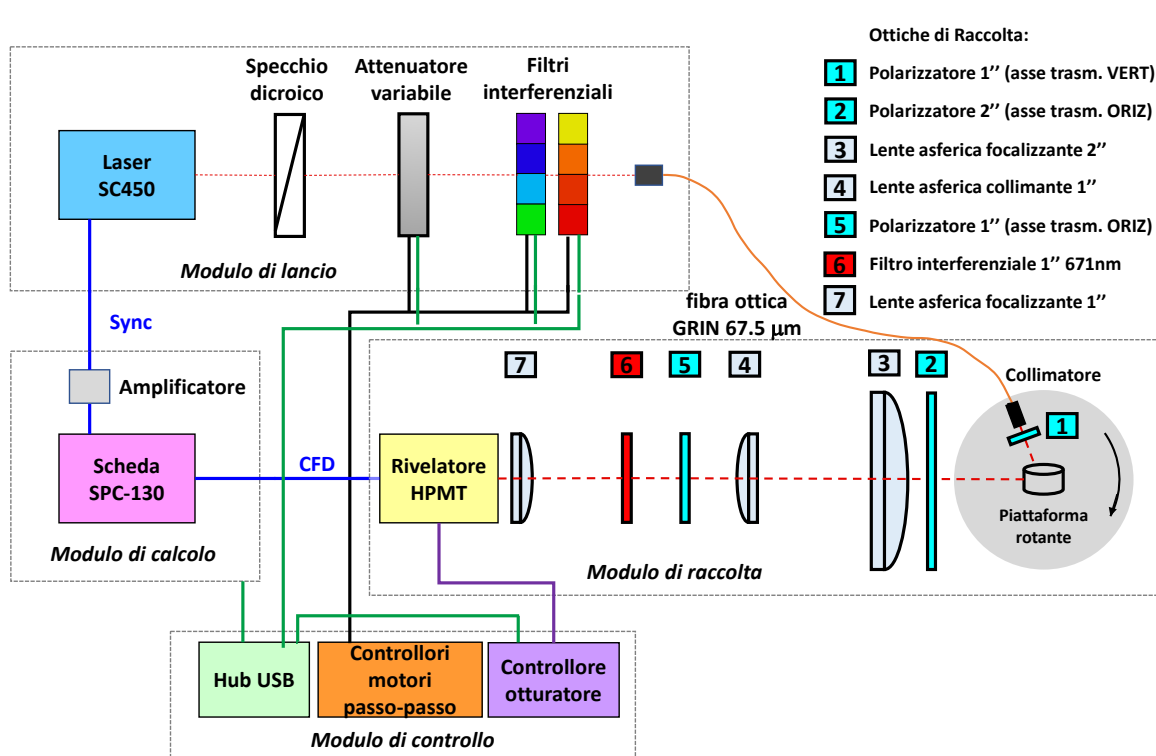


Fig 1: Schema del prototipo per misure TRS non-contact. SC450: laser supercontinuo; GRIN: graded-index; SYNC: segnale di sincronismo; CFD: segnale di controllo; SPC-130: scheda per il conteggio di singolo fotone correlato nel tempo; HPMT: rivelatore ibrido.

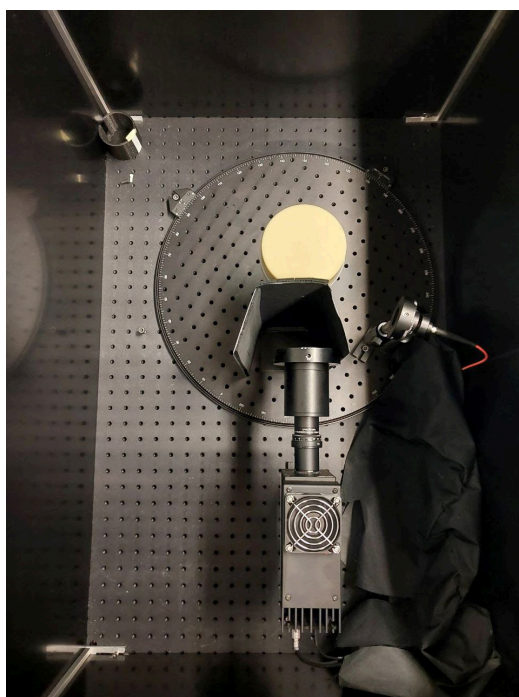


Fig 2: Immagine della scatola di misura del prototipo, dove si può vedere la fibra ottica collegata al collimatore per l'illuminazione del campione, il sistema di raccolta della luce emessa dal campione, il rivelatore e la paratia nera utilizzata per minimizzare la quantità di luce riflessa dal campione raccolta direttamente dal sistema di rivelazione.

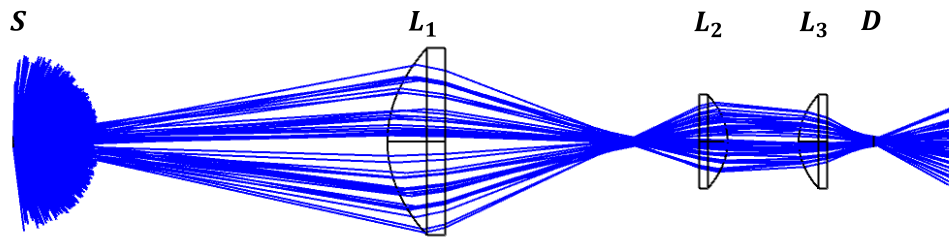


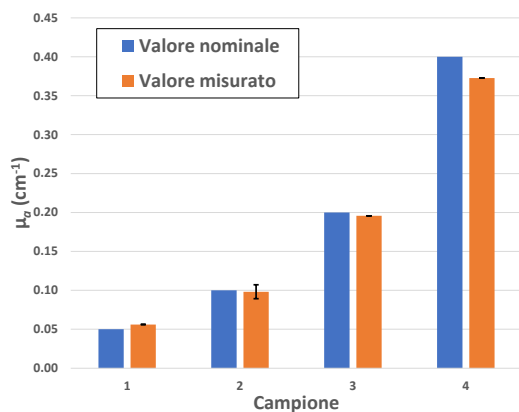
Fig 3: Risultato dello studio di ray-tracing effettuato con il software Zemax effettuato per determinare la configurazione di lenti che massimizzasse la luce incidente sul rivelatore. **S:** campione; **L₁, L₂, L₃:** lenti asferiche; **D:** rivelatore.

Validazione del prototipo per misure TRS *non-contact*

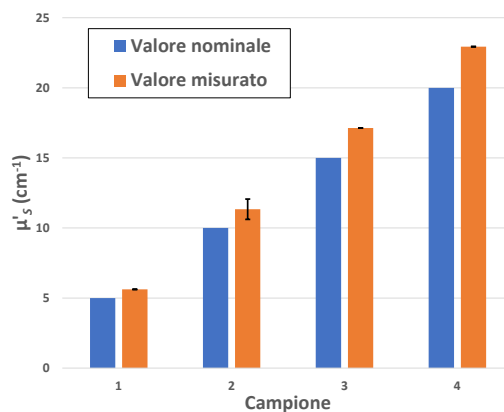
Il prototipo sviluppato per effettuare misure TRS in modalità di assenza di contatto è stato validato sfruttando un kit di campioni solidi che aventi proprietà ottiche simili a quelle dei tessuti biologici che si andranno a misurare in seguito. In particolare, sono stati utilizzati 4 campioni aventi il medesimo valore nominale del coefficiente di diffusione ridotto, $\mu'_s = 10 \text{ cm}^{-1}$, e 4 differenti valori nominali del coefficiente di assorbimento, $\mu'_s = 0.05, 0.1, 0.2 \text{ e } 0.4 \text{ cm}^{-1}$. Allo stesso modo, sono poi stati considerati 4 campioni con lo stesso coefficiente di assorbimento, $\mu_a = 0.1 \text{ cm}^{-1}$, e 4 diversi valori nominali del coefficiente di dispersione ridotto, $\mu'_s = 5, 10, 15, 20 \text{ cm}^{-1}$.

In Fig. 4 sono riportati i risultati delle misure effettuate a 671 nm per il coefficiente di assorbimento e per il coefficiente di diffusione ridotto. Notiamo come al crescere dell'assorbimento si abbia una sottostima del valore misurato, che si attesta a circa il 7%. Viceversa, il valore del coefficiente di diffusione ridotto viene sovrastimato di circa il 15%.

In Fig. 5 abbiamo studiato la linearità del prototipo nella determinazione dei parametri ottici del campione in esame, riportando i valori misurati in funzione di quelli nominali. Come si può vedere dai grafici la risposta lineare del prototipo risulta molto buona, con un valore per il coefficiente di determinazione R^2 molto vicino a 1.

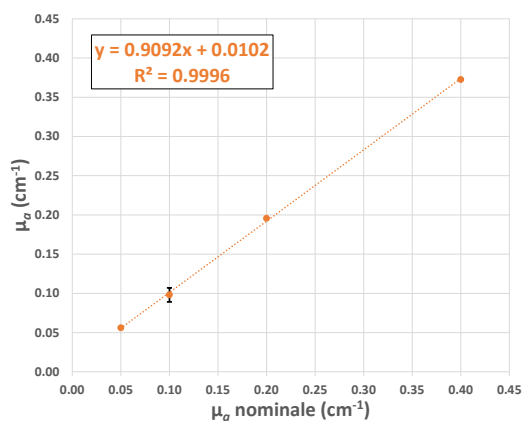


(a)

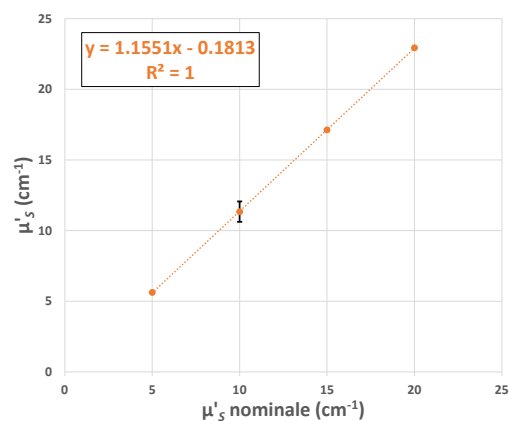


(b)

Fig 4: Risultati delle misure effettuate con il prototipo sviluppato per misure TRS *non-contact*: il valore misurato del coefficiente di assorbimento (a) e del coefficiente di diffusione ridotto (b) è riportato al variare del campione considerato. Nei grafici sono riportati anche i valori nominali corrispondenti.



(a)



(b)

Fig 5: Risultati delle misure di linearità effettuate con il prototipo sviluppato per misure TRS *non-contact*: il valore del coefficiente di assorbimento (a) e del coefficiente di diffusione ridotto (b) misurato è riportato al variare del valore nominale del campione considerato. Nei grafici sono riportate anche le rette che meglio interpolano i dati e le corrispondenti equazioni.

4. Conclusione e sviluppi futuri

Un prototipo per misure di spettroscopia ottica risolta nel tempo a distanza è stato progettato e sviluppato.

La caratterizzazione del prototipo è stata completata utilizzando campioni solidi con proprietà ottiche simili a quelle dei tessuti biologici, fornendo ottimi risultati in termini di linearità della risposta al variare delle proprietà ottiche.

La possibilità di effettuare misure TRS *non-contact* risulta molto importante in vista di una possibile implementazione di questa tecnica di valutazione non distruttiva della qualità dei frutti sulle moderne linee di selezione dei frutti.

Come ulteriore validazione, il prototipo verrà utilizzato per misure su batch, appositamente selezionati, di pere “Abate Fetel” e “Conference” utilizzate in questo progetto, e i risultati confrontati con quelli ottenuti con lo strumento TRS impiegato nelle campagne di misura del progetto.