



**Progetto TECHEA - Technologies for Health  
WorkPackage WP1**

**Rapporto tecnico sulla validazione dei prototipi**

**Deliverable D1.3**

*Luca Fiorani*

*Florinda Artuso*

*Isabella Giardina*

*Antonia Lai*

*Ivano Menicucci*

*Marcello Nuvoli*

*Alessandra Pasquo*

*Marco Pistilli*

*Fabio Pollastrone*

*Adriana Puiu*

Laboratorio Diagnostiche e Metrologia (FSN-TECFIS-DIM) dell'ENEA

9 novembre 2021

## INDICE

<b>1.</b>	<b>INTRODUZIONE .....</b>	<b>4</b>
<b>2.</b>	<b>ATTIVITÀ DEL TERZO ANNO.....</b>	<b>5</b>
<b>3.</b>	<b>CONCLUSIONI E PROSPETTIVE.....</b>	<b>13</b>
<b>4.</b>	<b>PUBBLICAZIONI .....</b>	<b>15</b>
<b>5.</b>	<b>DISSEMINAZIONE.....</b>	<b>16</b>

## INDICE DELLE FIGURE

Figura 1 - Prototipo per linea di produzione.....	6
Figura 2 - Motor control, scheda Arduino e driver board.....	7
Figura 3 - Prototipo per analisi speditive e zoom della graphical user interface (GUI) con i comandi di controllo (incluso il posizionamento del portacampioni).....	7
Figura 4 - Spettri ad alta risoluzione di glucosio, fruttosio e saccarosio e loro miscele .....	10
Figura 5 - Spettri a bassa risoluzione di glucosio, fruttosio e saccarosio e loro miscele.....	10
Figura 6 - Rapporto F / (F+S) in funzione del segnale a 10.0 $\mu\text{m}$ per fruttosio, saccarosio e le miscele di glucosio, fruttosio e saccarosio (il coefficiente di correlazione $R^2$ è 0.93).....	11
Figura 7 - PCA degli spettri di glucosio, fruttosio, saccarosio e loro miscele.....	11

## 1. Introduzione

---

Questo rapporto tecnico sintetizza il lavoro svolto e i risultati ottenuti nel terzo anno di attività del Workpackage 1 “SafeFood” del progetto “TecHea”, volto alla realizzazione di un prototipo per linea di produzione e di un prototipo per analisi speditive, basati sulla spettroscopia laser fotoacustica (LPAS) e applicati al campo della sicurezza alimentare. Il cuore dei due sistemi è un laser a cascata quantica (QCL). Il primo è stato montato su un carrello con zampe ripiegabili ed è trasportabile in due valigie, una per il sistema elettroottico e l’altra per il chiller del laser, il secondo è stato assemblato su un piccolo tavolo ottico contenuto in una valigetta.

Il documento contiene la descrizione delle fasi di lavoro del terzo anno di attività:

- ottimizzazione del prototipo per linea di produzione,
- finalizzazione del prototipo per analisi speditive,
- applicazione dei prototipi a casi di studio,
- validazione dei prototipi in condizioni field-like,

e si conclude con una breve descrizione delle pubblicazioni e della disseminazione.

## 2. Attività del terzo anno

---

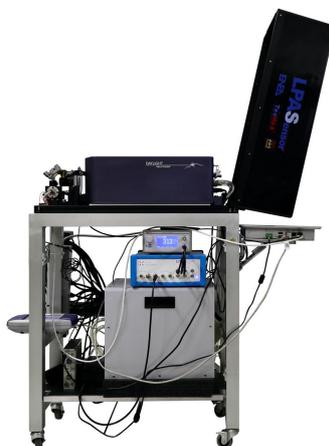
Il terzo anno di attività si è aperto con l'**ottimizzazione del prototipo per linea di produzione**. In particolare, l'amplificatore lock-in compatto acquisito per essere montato sul carrello è stato integrato nel prototipo e il programma LabVIEW che controlla tutti i sottosistemi (laser a cascata quantica, power meter e amplificatore lock-in) è stato completato.

Più precisamente, anche se nel corso del 2020 era stato realizzato il software in ambiente LabVIEW per l'interfacciamento con il PC della strumentazione – in particolare del nuovo amplificatore lock-in modello MFLI della Zurich Instruments – durante l'utilizzo era stata riscontrata la presenza di un inaspettato errore nelle misure, dovuto a un non trascurabile jitter nella frequenza del chopper modello SR540 della Stanford Research Systems. In seguito a ulteriori controlli è stato verificato che tale jitter – seppur accettabile con l'amplificatore lock-in modello SR530 della Stanford Research Systems – non era compatibile con il più moderno e performante amplificatore lock-in della Zurich Instruments. Purtroppo, i numerosi tentativi di risoluzione del problema in maniera software o hardware sono risultati vani, nonostante il coinvolgimento della Zurich Instruments. Si è quindi scelto di acquistare un chopper più moderno e accurato (modello WG71050 della Thorlabs). Questo strumento, realizzato con una tecnologia più attuale, presenta un jitter praticamente nullo e – nel caso di controllo con modulazione proveniente dall'amplificatore lock-in – un rumore di fase di alcuni decimi di grado. In seguito alla sostituzione del chopper, il prototipo per linea di produzione ha iniziato a funzionare correttamente, scongiurando la necessità di acquistare costosi toolbox aggiuntivi per l'amplificatore lock-in della Zurich Instruments.

Si è resa poi necessaria la migrazione del software realizzato nel PC di sviluppo al panel PC presente sul carrello, risolvendo diversi problemi legati alla compatibilità delle librerie software di comunicazione con gli strumenti. Inoltre, al fine di rendere l'interfaccia grafica del sistema di più semplice utilizzo, sono state implementate numerose migliorie, aggiungendo un help, una segnalazione di errore in caso di laser spento e perfezionando il sistema di numerazione automatica dei file salvati. Successivamente, è stata prodotta una versione compilata del software sviluppato con LabVIEW, ottenendo un solo file eseguibile e non modificabile che non richiede l'installazione dell'intero ambiente di sviluppo LabVIEW, ma solamente del ridotto ambiente runtime scaricabile gratuitamente dal sito della National Instruments. Anche per la compilazione è stato necessario risolvere una serie di problemi legati alle compatibilità delle librerie fornite dai

produttori di amplificatore lock-in e power meter. Finalmente, l'intero sistema – illustrato nella figura seguente – è stato testato ed è in fase di utilizzo routinario da mesi.

**Figura 1 - Prototipo per linea di produzione**



Una volta conclusa l'ottimizzazione del prototipo per linea di produzione, è stata eseguita la **finalizzazione del prototipo per analisi speditive**. Particolare cura è stata dedicata alla realizzazione della cella con inserimento automatico del campione. Per quanto riguarda l'elettronica, l'amplificatore lock-in è stato realizzato con una scheda Red Pitaya e il motore passo passo è stato controllato con una scheda Arduino. Il programma LabView che controlla tutti i sottosistemi (laser a cascata quantica, power meter, amplificatore lock-in e scheda Arduino) è stato completato.

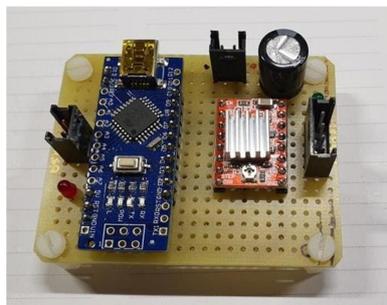
Nel corso del 2020 era stato realizzato il sistema hardware per l'amplificatore lock-in del prototipo per analisi speditive, basato sulla scheda di sviluppo Red Pitaya contenente una FPGA xilinx, ma il firmware dell'amplificatore lock-in era in fase prototipale e non erano ancora stati definiti i protocolli di comunicazione tra la FPGA e l'ambiente LabVIEW del PC. Inoltre, non era stato messo a punto il sistema di condizionamento del segnale microfonico, tantomeno era stato testata la modulazione tramite FPGA del QCL modello Monolux-90 della Pranalytica. Nel corso del 2021, tutte queste fasi sono state completate. Per l'interfacciamento del QCL con LabVIEW, è stato necessario risolvere alcune problematiche legate al fatto che Pranalytica fornisce librerie software coperte da password e quindi non modificabili. Una volta completato sul PC di sviluppo, il software è stato trasferito nel panel PC presente sulla valigetta e testato scegliendo il range di frequenze di modulazione del QCL ottimizzato per la risonanza della cella e mettendo a punto il sistema di condizionamento del segnale microfonico.

Dopo aver verificato il corretto funzionamento del prototipo per analisi speditive, si è ritenuto opportuno completare il sistema di posizionamento del portacampioni. Lo scopo era di effettuare un pratico sistema in grado di posizionare il campione all'interno della cella. Considerate le difficoltà di programmazione della scheda Red Pitaya e riconoscendo che non vi era alcuna necessità che il controllo del motore passo passo fosse gestito dallo stesso sistema che realizza l'amplificatore lock-in, si è deciso di cambiare il layout preliminare.

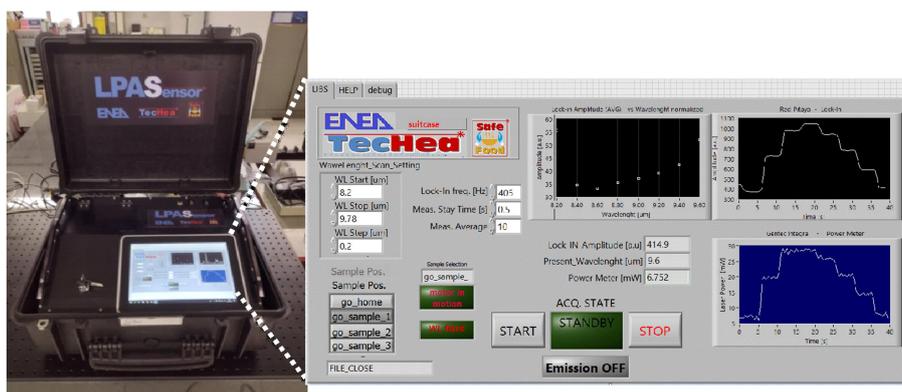
Aggiungendo una scheda a microcontrollore (Arduino), dedicata esclusivamente al controllo del motore passo passo e al finecorsa del portacampioni, è stata svincolata la scheda Red Pitaya dall'incombenza di gestire il posizionamento del portacampioni. Naturalmente, è stato realizzato un apposito firmware per il microcontrollore e sono state sviluppate librerie di comunicazione dedicate per LabVIEW, utili per l'impostazione della posizione del campione tramite una interfaccia grafica.

Dopo piccoli interventi, legati anche alla meccanica, è stato testato il funzionamento completo del sistema, verificando la precisione di posizionamento. La gestione del portacampioni è stata inserita nell'interfaccia grafica che gestisce tutti gli altri sottosistemi del prototipo per analisi speditive.

**Figura 2 - Motor control, scheda Arduino e driver board**



**Figura 3 - Prototipo per analisi speditive e zoom della graphical user interface (GUI) con i comandi di controllo (incluso il posizionamento del portacampioni)**



Parallelamente al completamento dei sistemi, è continuata l'**applicazione dei prototipi a casi di studio**. Qui sono riportati a mo' di esempio solo i risultati relativi alla sofisticazione dei succhi di frutta, anche se sono in corso (con differenti gradi di maturità) misure utili per la rivelazione di adulterazioni di latte, olio di oliva, origano e riso.

La determinazione della qualità e autenticità dei succhi di frutta è un'importante area di ricerca in campo alimentare, con rilevante impatto sull'industria, la sicurezza alimentare e la protezione del consumatore. Compagnie e produttori fraudolenti cercano di trarre benefici economici mettendo in commercio succhi di frutta adulterati nei quali utilizzano ingredienti poco costosi (zuccheri e sciroppi) e false indicazioni in etichetta. Le frodi più diffuse nell'industria dei succhi di frutta consistono nella diluizione con acqua, nell'addizione di zuccheri di canna e barbabietola invertiti o di HFCS (sciroppo di mais ad alto contenuto di fruttosio) per simulare il rapporto naturale di glucosio/fruttosio/saccarosio o ancora nell'addizione di succhi di frutta meno costosi. Il prezzo di zuccheri e sciroppi è ovviamente più economico di quello del succo autentico.

La composizione in zuccheri nei succhi di frutta fornisce valide informazioni riguardo all'autenticità dei succhi stessi e variazioni di tale composizione rispetto a quella naturale possono essere indice di adulterazione. Oltre all'autenticità del succo, la determinazione della composizione in zuccheri è importante in quanto un cambiamento dei valori nutrizionali va tenuto sotto controllo soprattutto nella preparazione della dieta per i pazienti diabetici. In particolare, è stato dimostrato che l'eccessiva presenza di fruttosio legata all'aggiunta di sciroppo di mais può causare danni alla salute. Inoltre, l'eccesso di fruttosio libero negli alimenti può provocare allergie nei bambini.

Tra i succhi in commercio, il succo di arancia e quello di mela sono tra quelli di maggior consumo. La composizione di quest'ultimo è caratterizzata dalla presenza di carboidrati che costituiscono più del 98% dei solidi totali solubili e glucosio, fruttosio e saccarosio sono gli zuccheri principali trovati nelle mele e nei succhi di mela. Cambiamenti nella composizione chimica dei succhi di mela possono essere dovuti alla varietà di mela, alla regione in cui viene coltivata, al clima e alle pratiche di coltivazione, ma anche ad adulterazioni fraudolente. Da studi in letteratura, emerge che in un succo di mela naturale il valore tipico approssimato del rapporto tra glucosio, fruttosio e saccarosio è di circa 3:6:2 e varia da 1 a 4, da 5 a 8 e da 0 a 5 w/w, rispettivamente. La misura del rapporto fra i tre zuccheri può quindi essere usata come indice di autenticità in quanto un'alterazione del rapporto tipico naturale può indicare l'aggiunta fraudolenta di zuccheri da sciroppi o l'aggiunta di succhi di frutta meno costosi.

Le tecniche utilizzate per la determinazione di zuccheri e di altri componenti nei succhi di frutta sono varie. I metodi cromatografici come la gascromatografia (GC) e la cromatografia liquida ad alta pressione (HPLC) si prestano molto bene per misure accurate di oligosaccaridi, ma sono anche costose, distruttive, richiedono tempo e non possono essere eseguite in tempo reale. L'uso di tecniche spettroscopiche come la risonanza magnetica nucleare (NMR) e la spettroscopia infrarossa (IR) risulta essere molto più versatile, poiché si tratta di tecniche non distruttive in grado di dare risposte veloci e attendibili.

Al fine di studiare la possibilità di applicare la LPAS per la valutazione di presenza/aggiunta di zuccheri indesiderati nei succhi di frutta, sono state effettuate prove di messa a punto delle condizioni operative conducendo test sui tre zuccheri che si possono usare come biomarkers di autenticità nei succhi di frutta (glucosio, fruttosio e saccarosio). Oltre agli zuccheri singolarmente, sono state misurate miscele con rapporti diversi dei tre zuccheri in maniera da simulare una tipica composizione naturale del succo di mela e due composizioni adulterate. A questa tecnica di analisi è stato associato un metodo chemometrico come la PCA (Principal Component Analysis) per ridurre la dimensionalità dei dati ottenuti ed estrarre dagli spettri utili informazioni qualitative e quantitative.

I campioni dei tre zuccheri puri sono stati preparati prelevando 100 mg dei rispettivi standard acquistati dalla Sigma Aldrich, St. Louis MO, US:

- glucosio: D-(+) Glucose, Dextrose D9434 (abbreviazione: D),
- fruttosio: Fructose PHR1002 (abbreviazione: F),
- saccarosio: Sucrose S7903 (abbreviazione: S).

In un secondo momento sono state preparate miscele da 100 mg dei tre zuccheri con la seguente composizione:

- Mix\_GFS\_20\_65\_15: D = 20 mg, F = 65 mg, S = 15 mg,  $F / (F+S) = 81\%$  (abbreviazione: N),
- Mix\_GFS\_20\_40\_40: D = 20 mg, F = 40 mg, S = 40 mg,  $F / (F+S) = 50\%$  (abbreviazione: X),
- Mix\_GFS\_20\_30\_50: D = 20 mg, F = 30 mg, S = 50 mg,  $F / (F+S) = 38\%$  (abbreviazione: Y).

Prima di pesare il miscuglio, il saccarosio è stato macinato per 10 minuti in maniera da raggiungere la granulometria degli altri due zuccheri in miscela. Il Mix\_GFS\_20\_65\_15 rappresenta una tipica composizione di zuccheri contenuta naturalmente nei succhi di mela. Il Mix\_GFS\_20\_40\_40 e il Mix\_GFS\_20\_30\_50 mimano due possibili casi di adulterazione della composizione naturale, dovuta ad aggiunta di zuccheri. La differenza tra massa "target" e massa effettiva di uno zucchero in una miscela è stata inferiore a 0.4 mg che corrispondono, nel peggiore dei casi, a una massima

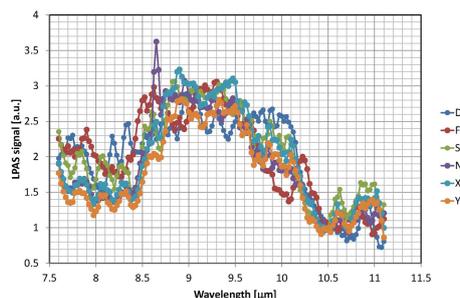
discrepanza percentuale pari  $0.4 \text{ mg} / 20 \text{ mg} = 2\%$ . Dopo le relative pesate, ciascun campione è stato miscelato per circa due minuti usando un mixer. Ciascuna miscela è stata infine distribuita uniformemente nel portacampioni per la misura.

Sui tre zuccheri puri e sulle tre miscele sono state effettuate misure LPAS utilizzando due modalità:

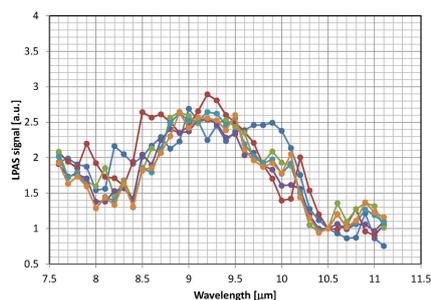
1. è stato registrato uno spettro ad alta risoluzione (scansione con risoluzione in lunghezza d'onda  $\lambda$  pari a  $0.025 \mu\text{m}$ );
2. sono stati registrati dieci spettri a bassa risoluzione (scansione con risoluzione in lunghezza d'onda  $\lambda$  pari a  $0.1 \mu\text{m}$ ).

Lo spettro ad alta risoluzione permette di riconoscere le firme spettrali specifiche di ciascuno zucchero, mentre gli spettri ripetuti sono necessari per applicare la PCA. Gli spettri ad alta e a bassa risoluzione sono mostrati nelle figure seguenti.

**Figura 4 - Spettri ad alta risoluzione di glucosio, fruttosio e saccarosio e loro miscele**



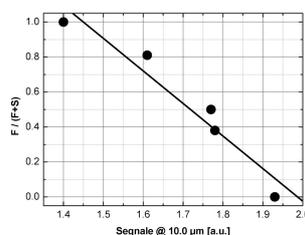
**Figura 5 - Spettri a bassa risoluzione di glucosio, fruttosio e saccarosio e loro miscele**



Gli spettri ad alta risoluzione sono stati ottenuti applicando un filtro di Savitzky-Golay del secondo ordine su cinque punti. Gli spettri a bassa risoluzione sono stati ottenuti mediando i segnali relativi alle dieci misure ripetute. Sia gli spettri ad alta risoluzione che gli spettri a bassa risoluzione sono stati normalizzati rispetto al segnale a  $10.5 \mu\text{m}$ . La lunghezza d'onda di normalizzazione è stata scelta osservando che tutti gli spettri hanno un minimo nei pressi di tale valore.

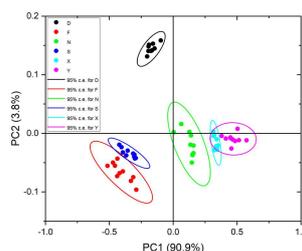
Gli spettri ad alta risoluzione di N, X e Y presentano un interessante picco a 8.65  $\mu\text{m}$  con ampiezza proporzionale al rapporto  $F / (F+S)$ . Anche la regione attorno a 10.0  $\mu\text{m}$  sembra promettente per quanto riguarda la discriminazione dei campioni, sia perché è utilizzabile anche a bassa risoluzione, non essendoci cambiamenti repentini del segnale in funzione della lunghezza d'onda (mentre il picco a 8.65  $\mu\text{m}$  è troppo stretto per essere visibile a bassa risoluzione), sia perché gli zuccheri puri sono chiaramente distinguibili. Non considerando il glucosio, costantemente presente nelle miscele al 20%, il segnale a 10.0  $\mu\text{m}$  a bassa risoluzione è stato messo in relazione con il rapporto  $F / (F+S)$  nella figura seguente. Il fit lineare dei dati dà buoni risultati, indicando che il rapporto  $F / (F+S)$  può essere predetto a partire dal segnale a 10.0  $\mu\text{m}$  con un errore del 10%.

**Figura 6 - Rapporto  $F / (F+S)$  in funzione del segnale a 10.0  $\mu\text{m}$  per fruttosio, saccarosio e le miscele di glucosio, fruttosio e saccarosio (il coefficiente di correlazione  $R^2$  è 0.93)**



Dopo aver mostrato che l'osservazione degli spettri a bassa risoluzione tra circa 10.0 e 10.5  $\mu\text{m}$  permette di valutare il rapporto  $F / (F+S)$ , e quindi di effettuare una prima distinzione tra miscele naturali e adulterate degli zuccheri presenti nei succhi di frutta, è stata eseguita la PCA sugli spettri a bassa risoluzione, ottenendo il risultato nella figura seguente. Tenendo conto dell'ellisse di confidenza al 95%, si osservano cinque nuvole di punti ben distinte corrispondenti a glucosio, fruttosio, saccarosio, miscela simulante succo di mela naturale e miscela simulanti succo di mela adulterato. In altre parole, la PCA permette di discriminare chiaramente succhi naturali e adulterati. Inoltre, due sole componenti spiegano quasi il 95% della varianza.

**Figura 7 - PCA degli spettri di glucosio, fruttosio, saccarosio e loro miscele**



Entrambi i prototipi – sia il carrello, che richiede semplicemente una connessione alla rete elettrica, sia la valigetta, che funziona a batteria – sono stati operati in condizioni “stand alone” da personale che non ha partecipato al loro sviluppo, dopo una breve spiegazione sul loro funzionamento, dimostrando così di poter essere dispiegati efficacemente in qualsiasi scenario operativo. Per questo motivo, la **validazione dei prototipi in condizioni field-like** è stata ritenuta completata.

### 3. Conclusioni e prospettive

---

Nonostante il perdurare dell'emergenza Covid-19 e quindi della minore presenza in laboratorio di ricercatori e tecnici – costretti ad usufruire, almeno in parte, del “lavoro agile” – entrambi i prototipi sono stati completati ed è possibile rilasciare il presente “Rapporto tecnico sulla validazione dei prototipi” che costituisce il Deliverable D1.3 del Workpackage 1, come previsto dalla “Richiesta di proroga progetto TecHea ‘Technologies for health’ ” approvata dal Consiglio di amministrazione con la Delibera n. 42/2021/CA del 6 settembre 2021.

La validazione dei prototipi è stata illustrata con uno dei casi di studio esaminati durante il terzo anno di progetto. Dopo aver dato uno sguardo panoramico sull'adulterazione dei succhi di frutta e sulle sue conseguenze per la salute, abbiamo riconosciuto che tale adulterazione è individuabile grazie alla concentrazione relativa di glucosio, fruttosio e saccarosio in un succo. Quindi, ci siamo concentrati sul succo di mela di cui sono maggiormente note le concentrazioni relative di glucosio, fruttosio e saccarosio per prodotti naturali e adulterati, preparando tre miscele di zuccheri di cui una simulante un prodotto naturale e le altre due prodotti adulterati. Infine, abbiamo misurato lo spettro LPAS – sia ad alta che a bassa risoluzione – dei campioni di glucosio, fruttosio, saccarosio e loro miscele simulanti succhi naturali e adulterati. L'analisi degli spettri ha mostrato che, già a bassa risoluzione, è possibile correlare il rapporto tra i segnali LPAS a 10.0 e 10.5  $\mu\text{m}$  con la concentrazione relativa di fruttosio rispetto alla somma di fruttosio e saccarosio, con una capacità predittiva accurata entro il 10%, in modo da poter distinguere succhi naturali e adulterati. L'applicazione della PCA, inoltre, indica che il sistema è capace di distinguere succhi naturali e adulterati con un livello di confidenza superiore al 95%.

Questi risultati – assieme a quelli simili ottenuti nella rivelazione di adulterazioni di latte, olio di oliva, origano e riso – ci fanno guardare con ottimismo al quarto anno di progetto in cui si prevedono le attività di sviluppo software per la realizzazione di data base spettrali relativi alle problematiche specifiche – che permettano di discriminare tra un campione sano e uno degradato – e lo studio della compliance dei prototipi con la normativa relativa alle problematiche specifiche. È continuata la sinergia del Workpackage 1 con il Progetto PoC FSN202009 “FoodSafety - Sensori laser per la sicurezza alimentare” proposto dal Dr. Luca Fiorani congiuntamente a Chelab srl (Mérieux NutriSciences Corporation), Tecnoalimenti scpa e Orsell spa. Un'altra sinergia si profila con il Progetto “TESLA - Tecniche lasEr per la Sicurezza di alimenti e Acque”, proposto dal Dr.

Fiorani congiuntamente all'Università di Roma Tor Vergata e approvato dalla Regione Lazio il 27 ottobre 2021.

Inoltre, i prototipi sviluppati nel Workpackage 1 sono un nodo dell'ESFRI "MetroFood - Infrastructure for promoting metrology in food and nutrition", sono stati utilizzati nel Progetto 5x1000 - Dichiarazione 2017 "Tecnologie 'mild' e aggiunta di antimicrobici naturali per il prolungamento della shelf-life ed il miglioramento della sicurezza dei succhi di frutta" e sono stati inclusi nella Proposta Horizon Europe "ASSIST - new Approaches and SolutionS for Increasing the efficiency of a Sustainable and Traceable food system" (programmi a guida SSPT).

Il Dr. Fiorani è stato invitato a far parte della Commissione Agroalimentare dell'Associazione Italiana Prove Non Distruttive Monitoraggio Diagnostica – AIPnD e del Comitato Scientifico del 1° Convegno "Diagnostica nel settore agroalimentare: indagini non distruttive, normative ed esigenze" dell'AIPnD al quale ha presentato una relazione su invito.

Inoltre, sono nate collaborazioni con:

- BeeEthic, azienda operante nella produzione di miele,
- Istituto di Fotonica e Nanotecnologie del CNR,
- Linea di ricerca "Metodi chemiometrici avanzati per la caratterizzazione e l'autenticazione di matrici reali complesse" dell'Università di Roma La Sapienza,

che si è concretizzata nella presentazione della tesi di laurea magistrale in chimica analitica "Rivelazione rapida di frodi alimentari tramite spettroscopia laser fotoacustica" (candidato: Pietro di Matteo, relatore: Federico Marini, correlatore: Luca Fiorani).

## 4. Pubblicazioni

---

### Rapporti tecnici

1. Giardina I., Artuso F., Fiorani L.  
Rapporto tecnico sulle misure di glucosio, fruttosio, saccarosio e loro miscele simulanti succhi naturali e adulterati  
Italian National Agency for New Technologies, Energy and Sustainable Economic Development, Frascati, Italy, 22 pp. (2020)

### Pubblicazioni SPIE

2. Fiorani L., Artuso F., Giardina I., Nuvoli M., Pollastrone F.  
Application of quantum cascade laser to rapid detection of food adulteration  
Proceedings of SPIE (ISSN 0277-786X), (in press)

### Articoli peer-reviewed

3. Fiorani L., Artuso F., Giardina I., Lai A., Mannori S., Puiu A.  
Photoacoustic Laser System for Food Fraud Detection  
Sensors 21 (ISSN 1424-3210), paper 4178 - 11 pp. (2021) IF: 3.576 (2020)
4. Puiu A., Fiorani L., Giubileo G., Lai A., Mannori S., Saleh W.  
QCL-based photoacoustic spectroscopy applied to rice flour analysis  
Food Science and Engineering 2 (ISSN 2717-5820), 65-76 (2021) IF: not available

### Contributi in collettanee

5. Fiorani L., Artuso F., Clai G., De Dominicis E., Di Matteo P., Gerevini M., Giardina I., Lai A., Mannori S., Menicucci I., Nuvoli M., Pasquo A., Pistilli M., Pollastrone F., Puiu A., Rinaldi M., Zoani C.  
Rapid Assessment of Food Safety by Laser Photoacoustic Spectroscopy  
van Amerongen A., Bonants P., Bridle H., van Dam A., De Saeger S., Dijk H., Elliott C., Nielen M. W. F., Popping B., Prins M. W. J., Suman M. (eds.), Book of Abstracts - RME2021 - 13th Rapid Methods Europe Conference, Wageningen University & Research, Wageningen, The Netherlands (2021) p. 25
6. Fiorani L.  
Food Fraud Detection by LPAS  
Scholarly Community Encyclopedia, MDPI, Basel, Switzerland (2021) entry  
<https://encyclopedia.pub/12356>
7. Fiorani L.  
Application of quantum cascade laser to rapid detection of food adulteration  
Ptashnik I., Tarasenko V., Eden G., Evtushenko G. (eds.), Pulsed Lasers and Laser Applications (AMPL-2021), STT Publishing, Tomsk, Russia (2021) p. 8 (ISBN 978-5-93629-670-3)

### Articoli divulgativi

8. Fiorani L. (intervistato da De Vita V.)  
Enea lancia SafeFood, il laser che smaschera le frodi alimentari  
Sito TeleAmbiente (12-09-2021)

## 5. Disseminazione

---

Il Dr. Luca Fiorani ha presentato oralmente i risultati del Workpackage 1 ai seguenti eventi:

1. RosBioTech-2020 - XIV International Biotechnological Forum-Exhibition - Mosca, 17 novembre 2020 (via telematica)
2. RosNOU - International Conference "Fundamental problems of Biomedical Radio Electronics: Interdisciplinary Approaches and Contemporary Challenges - Mosca, 27 novembre 2020 (via telematica)
3. RME2021 - 13th Rapid Methods Europe Conference – Amsterdam (Paesi Bassi), 1 - 3 febbraio 2021 (via telematica)
4. Manifestazione "Science Party" - Grottaferrata, 10-12 settembre 2021
5. XV International Conference on Pulsed Lasers and Laser Applications – AMPL-2021 - Tomsk (Russia), 12-17 settembre 2021 (via telematica)
6. 1° Convegno diagnostica nel settore agroalimentare: indagini non distruttive, normative, esigenze - Parma, 30 settembre-1 ottobre 2021

L'ENEA ha dato risalto ai prototipi pubblicando la notizia "Primo laser fotoacustico contro le sofisticazioni alimentari" su ENEAinform@ che è stata rilanciata da trasmissioni radiotelevisive e da articoli su organi di stampa cartacei e web.