



## **Richiesta per borsa di studio da attivare ai sensi di quanto disposto dal D.M. n. 1061 del 10/08/2021**

Il sottoscritto Gaetano Marrocco, Ordinario di Campi Elettromagnetici afferente al Dipartimento di Ingegneria Civile ed Ingegneria Informatica, tel 0672597418 email gaetano.marrocco@uniroma2.it

### CHIEDE

L'attivazione di una borsa di studio di dottorato ai sensi di quanto disposto dal D.M. n. 1061 del 10/08/2021. A tal fine comunica quanto segue:

La borsa sarà attivata sul seguente corso di dottorato accreditato per il XXXVII ciclo: Computer Science, Control and Geoinformation

Area per la quale si presenta la richiesta (selezionare solo una delle due):

Innovazione

**Green**

Tipologia di cofinanziamento (pari ad euro 8000 una tantum):

Nome dell'Ente finanziatore pubblico o privato: **RADIO6ENSE s.r.l.**

Persona di Riferimento: **Ing. Sara Amendola**, Telefono 3383195467

Email: amendola@radio6ense.com

Fondi di ricerca dipartimentali

Si allega:

- la descrizione del progetto dal titolo: “ **Smart packaging eco-sostenibile per il monitoraggio wireless della qualità degli alimenti** ”
- la lettera di impegno dell'azienda a co-finanziare la borsa di dottorato

**Firma**



## Descrizione del Progetto

### **Smart packaging eco-sostenibile per il monitoraggio wireless della qualità degli alimenti**

Il Progetto di Dottorato, in conformità con quanto previsto dalle tematiche “Green”, si propone di studiare e sviluppare nuovi dispositivi sensoristici chimico-fisici ad interfaccia wireless per il **tracciamento ed il monitoraggio dell'integrità degli alimenti**. L'ambito di applicazione preferenziale sarà quello dello **smart-packaging**, ma i risultati saranno estendibili ad altri settori (in particolare quello healthcare).

La ricerca avrà l'obiettivo di realizzare **sensori a basso costo** e a **basso impatto ambientale**, utilizzando **substrati biodegradabili** e flessibili e depositi mediante tecniche di **prototipazione rapida**, quali la stampa con inchiostri funzionalizzati. I sensori elettrochimici-elettrofisici, opportunamente integrati nel packaging alimentare, rileveranno diversi marker alimentari in matrice gassosa e/o liquida. Essi saranno interrogabili a distanza mediante **interfacce radio** a radiofrequenza/microonde. Nel rispetto del basso impatto ambientale i dispositivi saranno completamente **passivi (privi di batteria)** ed utilizzeranno per il funzionamento e la comunicazione **segnali elettromagnetici ambientali** provenienti da dispositivi dedicati o da sorgenti general-purpose (smartphone, hot-spot WiFi e dispositivi indossabili). In questo ambito si inserisce l'attenzione verso **l'utilizzo di piattaforme di comunicazione di quinta generazione (5G)** al fine di massimizzare la capillarità e la numerosità dei dispositivi, il coinvolgimento dell'utente finale e la capacità di gestione e trasmissione dei dati. I sensori potranno essere interrogati infatti da tutti gli attori della filiera alimentare, dal produttore fino al consumatore finale. I nuovi dispositivi saranno inoltre potenziati con l'uso di tecniche di **intelligenza artificiale** applicate ai dati da essi prodotti per rilevare pattern di **classificazione automatica** e definire **modelli predittivi** (maturazione e *shelf life*) mediante analisi multivariate tempo varianti. Le etichette radio permetteranno inoltre di gestire il recupero e quindi il riciclo dei contenitori mediante piattaforme di logistica integrata a coinvolgimento crescente dei vari operatori (clienti, distributori, cooperative di recupero, impianti di riciclo e produttori finali di packaging). La nuova tecnologia si configura quindi come abilitante per l'implementazione della **economia circolare in ambito alimentare**.

L'attività avrà carattere multidisciplinare (ICT, Chimico e Data analysis) e verrà svolta in collaborazione con la società RADIO6ENSE srl, interessata a promuovere le tecnologie sviluppate nell'ambito della Trasformazione Digitale.

Le tematiche hanno rilievo e novità scientifica. I tutor di progetto e l'Azienda coinvolta possiedono documentata esperienza nei settori interessati, con pubblicazioni recenti sulle principali riviste internazionali. Il progetto si inserisce quindi nel solco di attività e collaborazioni in essere, a garanzia della continuità scientifica e dei risultati attesi.

Pubblicazioni recenti dei proponenti attinenti al Progetto sono:

- C. Occhiuzzi, N. D'Uva, S. Nappi, **S. Amendola**, C. Gialluca, V. Chiabrando, L. Garavaglia, G. Giacalone, G. **Marrocco**, "Radio-Frequency-Identification-Based Intelligent Packaging: Electromagnetic Classification of Tropical Fruit Ripening," in IEEE Antennas and Propagation Magazine, vol. 62, no. 5, pp. 64-75, Oct. 2020.



- Mazzaracchio, V., Fiore, L., Nappi, S., **Marrocco**, G., & Arduini, F. (2021). Medium-distance affordable, flexible and wireless epidermal sensor for pH monitoring in sweat. *Talanta*, 222, 121502.
- Amato, F., Occhiuzzi, C., & **Marrocco**, G. (2020). Epidermal backscattering antennas in the 5G framework: Performance and perspectives. *IEEE Journal of Radio Frequency Identification*, 4(3), 176-185.

## 1. Obiettivi formativi

Al termine del percorso, lo studente acquisirà conoscenze scientifiche e metodologiche prevalentemente nei settori ICT e Data Analysis. Sarà in grado di compiere ricerche bibliografiche, progettare dispositivi, curarne la prototipazione e pianificarne/ eseguirne i test di laboratorio ed in condizioni operative.

Svilupperà capacità di analisi critiche, con particolare attenzione all'effettiva usabilità delle soluzioni proposte in ambito reale e alla loro industrializzazione (R&D *assessment*).

Sarà inoltre in grado di organizzare e gestire progetti complessi coinvolgenti diversi attori pubblici e privati, armonizzando le competenze e mitigando eventuali criticità.

Acquisirà padronanza nella divulgazione mediante la partecipazione a conferenze di settore.

## 2. Attività previste

Si prevedono attività di formazione, ricerca e sperimentazione, da svolgersi congiuntamente tra Università ed Azienda.

La formazione riguarderà l'acquisizione di strumenti e concetti relativi alla progettazione, la realizzazione e i test di sensori radio e algoritmi di intelligenza artificiale. Si prevede la partecipazione a seminari di carattere metodologico e di indirizzo, a *summer/winter school* e a conferenze internazionali.

In Azienda si acquisiranno competenze relative alle attività sperimentali e dimostrative.

Mediante seminari mensili lo studente esporrà gli avanzamenti della ricerca.

Si provvederà alla divulgazione dei risultati ottenuti e al trasferimento industriale, nel pieno rispetto della proprietà intellettuale.

## 3. Attinenza del progetto all'area indicata

Il progetto si inserisce nel solco della Direttrice Europea "Green" per molteplici aspetti riguardanti il controllo della **qualità dei cibi** (PNR 21-27, pg.137, *Scienze e tecnologie alimentari, Articolazione 1: Sicurezza Igienico-alimentare degli alimenti*) e la **riduzione dell'impatto ambientale** di prodotti e contenitori (PNR 21-27, pg.135, *Green Technologies, Articolazione 4: Riduzione dei rifiuti e della domanda di critical raw materials*). Si attendono ricadute nell'ambito food con benefici nel miglioramento del sistema alimentare verso scenari più equi, sani e rispettosi per l'ambiente (*Green Deal Europeo, Obiettivo tematico 6, PNR 21-27 pg 16*), e nell'ambito dell'economia circolare (*Green Deal Europeo, Obiettivo tematico 3, PNR 21-27 pg 16*).

Declinato in diverse forme realizzative, il sistema supporterà i processi di maturazione forzata tipici di frutta, formaggi e salumi, riducendo quindi sprechi, tempi ed additivi. Grazie poi ad un'indicazione chiara sulla condizione di conservazione del prodotto (effettivo deperimento indipendentemente dalla data di scadenza) e sul momento ottimale per la sua consumazione si ottimizzeranno gli utilizzi e si estenderà la vita utile del bene, *shelf life* (PNR 21-27, pg.137).



Il prodotto potrà essere univocamente tracciato dal sito di produzione fino al suo consumo, con benefici relativamente ad anticontraffazione e quindi valorizzazione delle produzioni nazionali (*made in Italy d'Origine Controllata/Protetta DOC-DOP, PNR 21-27, pg.82*).

L'etichettatura elettronica dei contenitori plastici (contenente i suoi dati di produzione e di utilizzo) favorirà poi il tracciamento degli stessi ed un recupero efficace ed efficiente. Secondo i paradigmi più nuovi della **logistica integrata** (*PNR 221-27, pg.133*), si faciliterà l'immissione del "bene" packaging plastico nella rete delle imprese interessate al suo riciclo e riutilizzo (*EC DG RTD 2019, Orientation Towards the first strategic Plan for Horizon Europe, Direttrice 4.9 Circular Industries*). La plastica infatti potrà essere facilmente riconosciuta ed opportunamente indirizzata.

Il packaging intelligente, in grado di comunicare tramite smartphone con il consumatore finale, permetterà anche una migliore esperienza di acquisto e di utilizzo consapevole (*PNR 21-27, pg.25, Citizen Engagement*). Il consumatore sarà incentivato a disporre opportunamente i contenitori e politiche di revenue potranno essere facilmente implementate.

#### **4. Risultati attesi:**

Il progetto di ricerca produrrà risultati a complessità crescente. Obiettivo finale è la realizzazione di un pilota funzionante esemplificativo di tutta la filiera del monitoraggio, da realizzarsi operativamente in collaborazione con l'Azienda ospitante nell'arco dei 12 mesi di attività congiunta.

Parallelamente, si attendono pubblicazioni su riviste internazionali e partecipazioni a conferenze nei diversi settori di riferimento, nonché la presentazione di brevetti.

##### **Hardware**

- Identificazione di marker associabili in maniera univoca a processi di maturazione, conservazione e degradazione di prodotti alimentari di origine vegetale ed animale (temperatura, umidità, pH, gas-enzimi, marker di ossidazione etc.);
- Realizzazione a basso costo di sensori chimici biodegradabili mediante stampa.
- Realizzazione di interfacce radio operanti in backscattering, comunicanti con smartphone, hotspot wifi e smartwatch.

##### **Software:**

- Algoritmi di AI per l'elaborazione multivariata dei dati sensoristici;
- Modelli predittivi di shelf life e maturazione.

##### **Pubblicazioni e brevetti**

- IEEE Sensors
- IEEE Transaction on Antennas and Propagation
- IEEE RFID Journal
- Biosensors and Bioelectronics
- Talanta, The International Journal of Pure and Applied Analytical Chemistry.



## 5. L'azienda ospitante

Il cofinanziamento verrà fornito da RADIO6ENSE srl, impresa innovativa, già spinoff dell'Università di Roma Tor Vergata. Fondata nel 2013, R6E è attiva nel settore della sensoristica wireless industriale e biomedicale. Svolge attività di ricerca e sviluppo ad alto valore tecnologico per Enti pubblici ed Aziende nazionali ed Internazionali, tra le quali:

- Ferrari Corse
- Enel
- Ministero della Difesa
- Ministero dell'Interno
- ILPA
- Bridgestone
- Braun
- Pfizer

R6E è particolarmente attiva nel settore dello Sviluppo sostenibile e dell'Economia Green. In particolare, R6E sviluppa per grandi aziende manifatturiere tecnologie innovative per il monitoraggio e controllo della maturazione della frutta in camera di maturazione e mediante etichette intelligenti in Smart Packaging.

Il dottorando frequenterà la sede di RADIO6ENSE per 12 mesi, spalmati lungo l'intera durata del progetto, utilizzando per la propria ricerca le facility HW/SW.