

## Scheda di Programma

Per l'attivazione nell'ambito del Corso di Dottorato di ricerca in **Matematica e Scienze Computazionali** del seguente Programma di ricerca, a valere sulle risorse di cui al DM n. 351/2022, relativamente alla seguente Misura:

**M4C1- Inv. 3.4** "Didattica e competenze universitarie avanzate" → **Dottorati dedicati alle transizioni digitali e ambientali.**

**M4C1- Inv. 4.1** "Estensione del numero di dottorati di ricerca e dottorati innovativi per la pubblica amministrazione e il patrimonio culturale". In particolare:

**Dottorati PNRR**

**Dottorati per la Pubblica Amministrazione**

(selezionare l'area/le aree CUN di riferimento del programma tra quelle di seguito indicate)

- Area 09 – Ingegneria industriale e dell'informazione
- Area 11 – Scienze storiche, filosofiche, pedagogiche e psicologiche
- Area 12 – Scienze giuridiche
- Area 13 – Scienze economiche e statistiche
- Area 14 – Scienze politiche e sociali

**Dottorati per il patrimonio culturale**

(selezionare l'area/le aree disciplinare/i e la tematica del programma tra quelle di seguito indicate)

- Area 01 – Scienze matematiche e informatiche **Tematica** – Informatica, patrimonio e beni culturali
- Area 02 – Scienze Fisiche **Tematica** – Fisica applicata al patrimonio culturale e ai beni culturali
- Area 03 – Scienze chimiche **Tematica** – Chimica, ambiente, patrimonio e beni culturali
- Area 04 Scienze della Terra **Tematica** – Georisorse minerarie per l'ambiente, il patrimonio e i beni culturali
- Area 05 Scienze Biologiche **Tematica** - Ecologia, patrimonio e beni culturali
- Area 08 – Ingegneria civile e Architettura **Tematiche** 1) Architettura, ambiente antropizzato, patrimonio e beni culturali 2) Architettura e paesaggio 3) storia dell'architettura; 4) Restauro; 5) Pianificazione e progettazione dell'ambiente antropizzato; 6) Design e progettazione tecnologica dell'architettura
- Area 10 Scienze dell'antichità, filologico-letterarie e storico -artistiche **Tematiche** 1) Archeologia; 2) Storia dell'arte; 3) Media, patrimonio e beni culturali
- Area 11 – Scienze storiche, filosofiche, pedagogiche, psicologiche **Tematiche** 1) Biblioteconomia; 2) Archivistica; 3) Storia del patrimonio e dei beni culturali 4) Paleografia; 5) Estetica; 6) Didattica dell'arte; 7) pedagogia dell'Arte
- Area 12 - Scienze giuridiche **Tematica** Diritto del patrimonio culturale
- Area 13 - Scienze Economiche e statistiche **Tematiche** 1) Economia della cultura e dell'arte 2) Economia e gestione delle imprese artistiche e culturali; 3) Statistica e Data Analytics per i beni culturali
- Area 14 Scienze Politiche e sociali **Tematiche** 1) Sociologia dei beni culturali 2) sociologia dell'ambiente e del territorio

❖ **Titolo del Programma di ricerca:** Modelli di approssimazioni e di operatori discreti con applicazioni in analisi di immagini nel campo biomedico.

❖ **Title of the Research Program:** Models of approximations and discrete operators with applications in image analysis in the biomedical field.

❖ **Descrizione** (MAX 5000 CARATTERI SPAZI ESCLUSI):

### VERSIONE ITALIANA

La naturale evoluzione dei diversi servizi sanitari presenti in Industria 4.0 impone un'analisi delle informazioni con metodologie e algoritmi innovativi ed in particolare per l'analisi di dati

multidimensionali presenti nei diversi comparti della medicina (Anatomia Patologica, Oculistica, Immunologia, Radiologia, ...). Il progetto si estende dalle ricerche teoriche orientate a individuare di modelli matematici performanti per l'individuazione di regioni di interesse su dati multimodali alle applicazioni per l'analisi dei segnali e dei sistemi dinamici che emergono in varie scienze (medicina, ingegneria, fisica, biologia, acustica, economia). Questo progetto nasce da una collaborazione tra il Dipartimento di Matematica e Informatica dell'Università di Palermo, la fondazione RiMED e Department of Engineering and Technology dell'University of Hertfordshire. Leader nei settori dell'analisi di immagini biomedicali e delle tecnologie di punta per l'analisi Radiomica.

In particolare, le attività prese in carico dal dottorando saranno dedicate a individuare soluzioni a problemi di approssimazione con operatori e con funzioni da applicare su diverse applicazioni di tipo biomedico e/o ingegneristico, pertanto gli argomenti proposti si inquadrano nell'ambito dell'informatica, dell'analisi numerica, della ricerca operativa e in generale delle scienze computazionali. La teoria dei frames (che include la teoria delle wavelet e dei suoi derivati) e la teoria degli operatori discreti forniscono metodi per l'analisi di segnali o delle immagini e permettono l'implementazione di algoritmi efficaci. I modelli e le metodologie sviluppate in tali ambiti, durante la prima fase del dottorato, per segmentare volumi target da immagini multimodali (PET, CT, RM, etc..) permetteranno, nella seconda fase, una validazione su dati reali acquisiti sia presso RiMED sia presso l'università di Hertfordshire. La fase di validazione consentirà di ottenere metodi in cui sarà presente il giusto compromesso tra tempi di risposta ed efficienza. Inoltre una speciale attività, su dati di tipo immagine, sarà destinata alla definizione di un workflow di radiomica per individuare un modello predittivo di supporto alla gestione clinica personalizzata dei pazienti affetti da neoplasie.

Obiettivo primario della ricerca è l'individuazione di target bidimensionali presenti su dati radiologici. Attualmente in ambiente medico, metodi non supervisionati e automatici, in alcuni casi, non riportano la corretta zona di interesse approssimandola a zone in cui il medico ha difficoltà a produrre un'accurata diagnosi. Sebbene le tecniche basate su soglia o region growing sono le più presenti in letteratura, esse soffrono di varie problematiche (es. dipendenza dall'operatore). Per questo motivo saranno implementati algoritmi in grado di produrre segmentazioni accurate, operatore indipendente e real-time basati sulle teorie dei frames (TF) e sui metodi di intelligenza artificiale (IA). La combinazione tra i metodi TF e quelli presenti in IA, opportunamente addestrati con features di radiomica, consentiranno di ottimizzare le zone di interesse sui minimi locali più significativi e quindi identificando una più accurata zona tumorale, nonostante la presenza di rumore, la scarsa informazione dei contorni e l'eterogeneità dei profili di intensità. La teoria dei Frames (contenente le più note teorie sulle Wavelet, Starlet ecc) e la

teoria degli operatori discreti offrono innovativi approcci e più competitive soluzioni per l'analisi dei dati multidimensionali; nello specifico delle immagini radiologiche garantiscono algoritmi più performanti ed efficienti per l'approssimazione automatica di volumi complessi. Il progetto ha molteplici aspetti innovativi riguardanti: l'individuazione del contorno, senza l'intervento dell'operatore, degli organi a rischio diminuendo il tempo di pianificazione del piano di trattamento; valutare gli effetti della radioterapia sulla lesione dopo il trattamento attraverso un processo automatico di segmentazione del volume target anche in caso di follow-up di tipo funzionale su PET; il superamento dei limiti dei dati di ciascuna componente radiologica consentendo al medico una più completa comprensione dei meccanismi fisiopatologici per un quadro clinico più accurato.

L'impatto scientifico del progetto consiste nello sviluppo teorico di argomenti fondativi della Teoria dell'Approssimazione, dell'Analisi di Fourier e dell'Analisi non armonica mediante lo studio di famiglie di funzioni (frames) e di operatori discreti. Questi approcci trovano riscontro nel Dottorato in Matematica e Scienze computazionali sviluppando tematiche fortemente innovative, inquadrare nell'ambito delle matematiche applicate all'ICT, con applicazioni nel settore delle E-health e dei nuovi sistemi diagnostici.

La possibilità di implementare software user-friendly favorirà la diffusione di metodiche aperte ad un flessibile interscambio tra il mondo della ricerca e il mondo produttivo, promuovendo, altresì, tecnologie riciclabili anche in altri ambiti. Pertanto, l'attività di ricerca proposta e i relativi risultati attesi avranno un forte impatto in ambiti coerenti con le finalità del PNRR e potrà essere misurata attraverso i più convenzionali indicatori. L'opportunità progettuale promuoverà interventi di valorizzazione del capitale umano sia nel mondo della ricerca accademica che in quello produttivo. L'interdisciplinarietà degli argomenti, specifici delle teorie matematiche messe in campo e del loro sviluppo con metodi informatici, offre una notevole valorizzazione del capitale umano, sviluppando profili professionali innovativi necessari per un'efficiente transizione digitale del sistema sanitario italiano. Pertanto le tematiche trattate risultando anche trasversali su altre misure del PNRR.

### **ENGLISH VERSION**

The natural evolution of the various health services present in Industry 4.0 requires an analysis of information with innovative methodologies and algorithms, in particular for the analysis of multidimensional data present in the various fields of medicine (Pathological Anatomy, Ophthalmology, Immunology, Radiology, ...) . The project moves from theoretical researches aimed at identifying effective mathematical models for the identification of regions of interest on multimodal data to applications for the analysis of signals and dynamic systems that emerge

in various sciences (medicine, engineering, physics, biology , acoustics, economy). This project stems from a collaboration between the Department of Mathematics and Computer Science of the University of Palermo, the RiMED foundation, and the Department of Engineering and Technology of the University of Hertfordshire, leader in the fields of biomedical image analysis and cutting-edge technologies for radiomics analysis.

In particular, the activities undertaken by the PhD student will be dedicated to identifying solutions to approximation problems with operators and with functions to be applied on different biomedical and / or engineering applications; therefore, the topics proposed fall within the context of information technology, numerical analysis, operational research, and, in general, computational sciences. The theory of frames (which includes the theory of wavelets and its derivatives) and the theory of discrete operators provide methods for the analysis of signals or images, and allow the implementation of effective algorithms. The models and methodologies developed in these areas, during the first phase of the doctorate, to segment target volumes from multimodal images (PET, CT, MRI, etc.) will allow, in the second phase, a validation on real data acquired both at RiMED and at the University of Hertfordshire. The validation phase will allow to obtain methods in which there will be the right compromise between response times and efficiency. Furthermore, a special activity, on image data, will be devoted to the definition of a radiomics workflow to identify a predictive model to support the personalized clinical management of patients with cancer.

The primary objective of the research is the identification of two-dimensional targets present on radiological data. Currently, in the medical environment, unsupervised and automatic methods, in some cases, do not report the correct area of interest, approximating it to areas where the doctor is in trouble in producing an accurate diagnosis. Although the techniques based on threshold or region growing are the most present in the literature, they suffer from various problems (e.g., dependence on the operator). For this reason, algorithms capable of producing accurate segmentation, independent operator and real-time based on the theories of frames (TF) and on artificial intelligence (AI) methods will be implemented. The combination between the TF methods and those present in AI, suitably trained with radiomics features, will allow to optimize the areas of interest on the most significant local minima and therefore identifying a more accurate tumor area, despite the presence of noise, the poor information of the contours and heterogeneity of intensity profiles. The theory of Frames (containing the best known theories on Wavelets, Starlets, etc.) and the theory of discrete operators offer innovative approaches and more competitive solutions for the analysis of multidimensional data; specifically, radiological images guarantee more performing and efficient algorithms for the automatic approximation of complex volumes. The project has multiple innovative aspects concerning: the identification of

the contour, without the intervention of the operator, of the organs at risk by decreasing the planning time of the treatment plan; evaluate the effects of radiotherapy on the lesion after treatment through an automatic process of segmentation of the target volume even in the case of functional follow-up on PET; the overcoming of the data limits of each radiological component allowing the physician a more complete understanding of the pathophysiological mechanisms for a more accurate clinical picture.

The scientific impact of the project consists in the theoretical development of the founding arguments of the Approximation Theory, Fourier Analysis and Non-harmonic Analysis through the study of families of functions (frames) and discrete operators. These approaches are reflected in the Doctorate in Mathematics and Computational Sciences by developing highly innovative topics, framed in the field of mathematics applied to ICT, with applications in the E-health sector and new diagnostic systems.

The possibility of implementing user-friendly software will enable the spread of methods open to a flexible interchange between the world of research and the productive world, also promoting recyclable technologies in other areas as well. Therefore, the proposed research activity and the related expected results will have a strong impact in areas consistent with the purposes of the PNRR and can be measured through the more conventional indicators. The project opportunity will promote interventions to enhance human capital both in the world of academic research and in the productive one. The interdisciplinary nature of the topics, specific to the mathematical theories put in place and their development with IT methods, offers a significant enhancement of human capital, developing innovative professional profiles necessary for an efficient digital transition of the Italian health system. Therefore, the issues dealt with are also transversal to other measures of the PNRR.

❖ **PERIODO IN IMPRESA – CENTRI DI RICERCA – P.A.:**

Il Programma di ricerca sarà svolto in collaborazione con il seguente soggetto:

Ragione sociale: **Fondazione RiMED**  
Sede legale: Via Bandiera, 11 – 90133 Palermo, Italia  
Rappresentante legale: Dott. Alessandro Padova

L'ente sopra citato ospiterà il dottorando beneficiario della borsa finanziata sulle risorse del DM 351/2022 per n. 6 mesi (**min 6 max 12**) nel corso del dottorato.

❖ **PERIODO ALL'ESTERO:**

Il Programma di ricerca prevede un periodo all'estero di n. 6 mesi (**min 6 max 18**) presso la seguente istituzione:

**University of Hertfordshire**, Hatfield, Hertfordshire (UK), Department of Engineering and Technology.

Si dichiara inoltre che il presente programma è conforme al principio “di non arrecare un danno significativo” (DHS) ai sensi dell’art. 17 del regolamento (UE) 2020/852 in coerenza con gli orientamenti tecnici predisposti dalla Commissione Europea (Comunicazione della Commissione Europea 2021/C58/01) e garantisce il rispetto dei principi orizzontali del PNRR (contributo all’obiettivo climatico e digitale c.d. tagging, il principio della parità di genere e l’obbligo di protezione e valorizzazione dei giovani).