

# PRIN 2022 STEM-DEEP: STOCHASTIC ELECTROMAGNETIC MODELING AND DEEP LEARNING FOR AN EFFECTIVE AND PERSONALIZED TRANSCRANIAL MAGNETIC STIMULATION

*M. E. Mognaschi (PI)<sup>1</sup>, N. Fontana (Vice PI)<sup>2</sup>, L. Di Rienzo<sup>3</sup>, M. Tucci<sup>2</sup>, S. Barmada<sup>2</sup>,  
S. Dodge<sup>2</sup>, L. Codecasa<sup>3</sup>, A. Pichiecchio<sup>4</sup>, G. Cosentino<sup>5</sup>*

<sup>1</sup>Dipartimento di Ingegneria Industriale e dell'Informazione, Università degli Studi di Pavia  
Via Ferrata 5, 27100 Pavia

<sup>2</sup>DESTEC Dipartimento di Ingegneria dell'Energia, dei Sistemi, del Territorio e delle Costruzioni, Università di  
Pisa, Largo Lucio Lazzarino 1, 56122 Pisa

<sup>3</sup>Dipartimento di Elettronica, Informazione e Bioingegneria – Sezione Elettrica, Politecnico di Milano  
Piazza Leonardo da Vinci 32, 20133 Milano

<sup>4</sup>Department of Brain and Behavioral Sciences, University of Pavia, Pavia, Italy  
Advanced Imaging and Artificial Intelligence Research Unit, Neuroradiology Department, IRCCS Mondino  
Foundation, Pavia, Italy

<sup>5</sup>Department of Brain and Behavioral Sciences, University of Pavia, Pavia, Italy  
Translational Neurophysiology Research Unit, IRCCS Mondino Foundation, Pavia, Italy

Il progetto STEM-DEEP (STochastic Electromagnetic Modeling and DEEP learning for an effective and personalized transcranial magnetic stimulation) è stato finanziato nell'ambito dei progetti di rilevante interesse nazionale PRIN 2022. Il principale obiettivo del progetto è lo sviluppo di un metodo innovativo per determinare l'intensità ottimale della corrente elettrica e la posizione ideale della bobina nell'ambito della Stimolazione Magnetica Transcranica (TMS), al fine di stimolare in modo efficace una specifica regione corticale del cervello in soggetti sani. A questo scopo, è stato elaborato un approccio originale che combina misurazioni sperimentali e tecniche numeriche avanzate, in particolare tecniche di Deep Learning (DL). L'analisi è stata condotta su dati personalizzati ottenuti da immagini di Risonanza Magnetica (MRI) e sedute TMS effettuate su 27 soggetti volontari sani. Il problema diretto di campo — ovvero il calcolo della distribuzione del campo elettrico a partire dalla geometria della sorgente, dalle proprietà dei tessuti e dalla corrente applicata alla bobina — è stato risolto con un modello di ordine ridotto (ROM). Il modello di ordine ridotto consente di calcolare il campo elettrico indotto nella testa del soggetto sottoposto alla TMS con tempi di calcolo estremamente ridotti rispetto a software commerciali basati sul metodo agli elementi finiti (FEM), senza compromettere l'accuratezza (errore relativo inferiore allo 0,5%). A partire dalle immagini di risonanza magnetica dei soggetti, è stata effettuata la segmentazione dei tessuti in SimNIBS e per ciascun soggetto è stata generata la mesh del dominio geometrico 3D (Fig. 1). A partire dalla mesh, è stato utilizzato il ROM per realizzare un database di mappe del campo elettrico, al variare della posizione del coil in prossimità della regione del cervello relativa al movimento della mano (hand-knob). Tale database di mappe di campo è stato usato per potere risolvere il problema inverso, che consiste nel ricavare la posizione e l'orientamento della bobina al fine di ottenere una TMS efficace a partire da una regione di interesse da stimolare scelta dall'operatore. Il modello DL è stato addestrato con il database ottenuto dalle analisi MOR ed è basato sull'utilizzo di un Conditional Variational AutoEncoder (CVAE) e di una Convolutional Neural Network (CNN) in cascata (Fig. 2). L'addestramento è stato effettuato

utilizzando le mappe di campo calcolate dal ROM con posizione del coil variabile su una griglia di punti: per ogni posizione  $(x, y)$  ed orientamento  $(\theta)$  del coil è stato ricavato il campo elettrico in una regione di interesse centrata nell'hand-knob di ogni paziente.

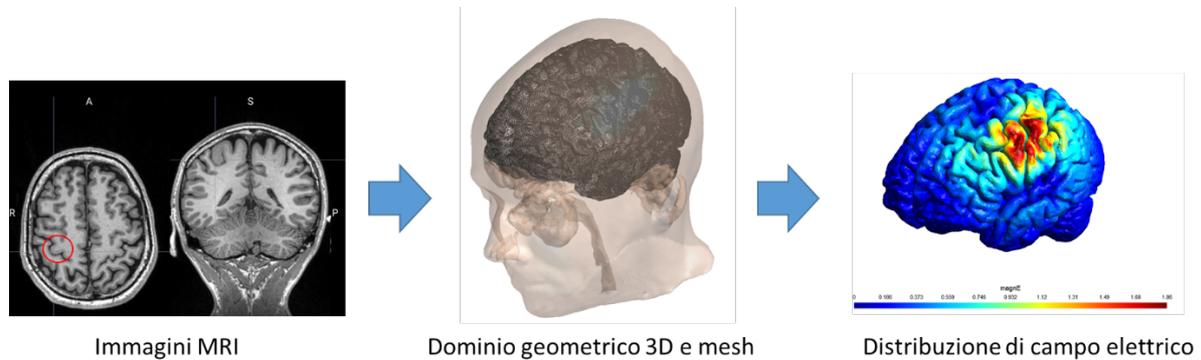


Figura 1. Modello numerico di campo: a partire dalle immagini di risonanza magnetica (la regione hand-knob è cerchiata in rosso) si ottiene la distribuzione di campo elettrico indotto in 3D.

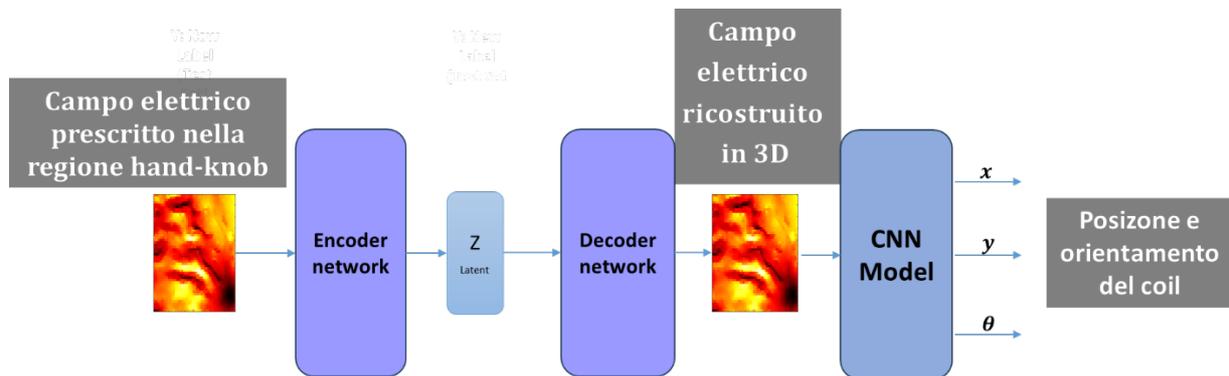


Figura 2. Approccio deep learning per l'identificazione di posizione e orientamento del coil, data una distribuzione di campo elettrico indotto voluta nella regione hand-knob.

Il modello di deep learning è stato quindi validato numericamente su un primo paziente. Successivamente ne saranno validate le funzionalità anche per gli altri soggetti a disposizione, col fine di ottenere una generalizzazione del metodo proposto.

### Ringraziamenti

This work is supported by the European Union's Next Generation EU program through the Italian PRIN 2022 - Missione 4 Component 2, Investment 1.1 - grant n. 2022P8YKLJ - CUP F53D23000660006 - project "STEM-DEEP Stochastic electromagnetic modeling and deep learning for an effective and personalized transcranial magnetic stimulation".