



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

Il sottoscritto **Giuseppe VAIRO**, qualifica **Professore Associato**, afferente al **Dipartimento di Ingegneria Civile e Ingegneria Informatica (DICII)**, Interno **7088**, email **vairo@ing.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: **Ingegneria Civile**

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:

Medere srl (<https://medere.it>) - Via Monasterace, 43, 00118 (Roma) - REA: RM-1561593 – P. IVA 15004601009

Persona di Riferimento: **Daniele Bianchi**

Telefono: **+39 3332239001**

Email: **daniele.bianchi@medere.it**

Fondi di ricerca dipartimentali

Progetto di Ricerca

Contesto

Più di un adulto su tre (con età superiore ai 45 anni) soffre di patologie che inducono stati di dolore ai piedi (e.g., diabete, neuroma di Marton, processi artritici, ecc.). Questa percentuale cresce notevolmente se si includono patologie muscolo-scheletriche sistemiche associate ad effetti secondari sui piedi. Le cause che portano a tali condizioni sono di molteplice natura ed entità (e.g., neurologiche, muscolo-scheletriche, vascolari, dermatologiche) e comportano problematiche più o meno gravi a seconda delle specifiche eziologie: da un leggero sentore di stanchezza ed indolenzimento, fino a dolore cronico e problemi posturali.

Il dolore ai piedi è una condizione estremamente debilitante ed invalidante che costringe chi ne soffre ad una difficoltà a deambulare che sfocia generalmente in un progressivo stile di vita sedentario. Si



comprende quindi che le conseguenze delle patologie associate a dolori ai piedi hanno non soltanto un'incidenza diretta sulla riduzione della qualità di vita di chi ne soffre, ma anche una concreta valenza sociale. Se non contenute o trattate, tali patologie tendenzialmente progrediscono, arrivando a causare seri problemi neuromuscolari a cui devono seguire terapie (generalmente lunghe) di riabilitazione e manipolazione, terapie farmacologiche e/o del dolore, fino a stadi in cui possono rendersi necessari interventi chirurgici. Tutto questo ha pertanto una notevole incidenza sui costi sociali connessi al servizio sanitario.

Una delle soluzioni più largamente utilizzata e validata per contenere e trattare questi stati patologici, rallentando eventuali fasi di cronicizzazione e prevenendo stati avanzati invalidanti, è basata sull'utilizzo di specifici dispositivi plantari. Secondo l'analisi recentemente sviluppata da IndustryARC il mercato connesso all'uso di plantari superava nel 2017 i 3.3 bilioni di dollari, con una stima di crescita annua stimata attorno al 6%. Tuttavia, tale approccio terapeutico -semplice, scarsamente invasivo, altamente personalizzabile, e con effetti clinici immediati-, presenta alcune criticità essenziali connesse all'accessibilità ed all'eco-sostenibilità, che di fatto potrebbero limitarne l'efficace sviluppo tecnologico e quindi la fattiva ed efficace implementazione clinica. In dettaglio:

- la filiera attuale prevede che il paziente si rechi fisicamente in laboratori altamente specializzati e generalmente poco diffusi sul territorio, per una scannerizzazione o un calco dei propri piedi, così da consentire la specifica personalizzazione del dispositivo terapeutico;
- l'intero processo alla base della produzione di plantari specifici personalizzati richiede tempi di fruibilità, definiti dall'atto della prescrizione medica alla disponibilità al paziente, non inferiori alle 3 settimane;
- il processo produttivo risulta particolarmente costoso in quanto coinvolge l'uso di macchinari dedicati, ad alto ingombro e costo, oltre che il coinvolgimento di numerose figure professionali; ciò, abbinato a scarsi scenari competitivi a livello commerciale, comporta che il costo di dispositivi plantari specifici personalizzati vari tra 150 e 300€;
- il processo produttivo è attualmente tale da generare notevoli quantità di materiali di scarto oltre che basato sull'uso di materiali di preparazione (calchi o matrici di stampa) e di produzione con un grado di riuso praticamente nullo (gomme, plastiche, inerti granulari). Inoltre, i macchinari per la produzione dei dispositivi plantari sono generalmente poco efficienti da un punto di vista energetico.

Descrizione del Progetto

Alla luce di quanto detto, il progetto proposto si prefigge di sviluppare ulteriormente ed ottimizzare il processo tecnologico innovativo concepito da Medere srl per la produzione rapida, economica ed eco-sostenibile, di dispositivi plantari specifici personalizzati. Attraverso l'utilizzo del proprio smartphone (quindi senza alcuna necessità di spostamento fisico), il processo prevede che il paziente fornisca foto e/o video dei propri piedi, così da rendere possibile la ricostruzione tridimensionale delle geometrie coinvolte e la conseguente definizione digitale del dispositivo terapeutico sulla base delle specifiche prescrizioni cliniche. Il dispositivo plantare, così personalizzato e specifico, viene poi prodotto attraverso una metodologia innovativa di additive manufacturing (i.e., stampa 3D).

Il processo tecnologico brevemente descritto, non solo aumenta l'accessibilità all'uso di tali dispositivi terapeutici (con le immediate conseguenze sul benessere dei pazienti e l'indiretta riduzione dei costi a carico del servizio sanitario nazionale), ma -se concepito ed ottimizzato per essere implementato



attraverso materiali di stampa totalmente biodegradabili e con requisiti di smaltimento nullo-consentirebbe di eliminare dalla filiera l'utilizzo di materiali di scarto monouso, che inducono criticità connesse al loro smaltimento sostenibile.

Per raggiungere tale obiettivo è però necessario ottimizzare il processo di stampa sulla base di materiali specifici, la cui caratterizzazione meccanica ed il cui comportamento durante la fase tecnologica di additive manufacturing ad oggi non sono completamente noti. Ciò non rende quindi attualmente possibile la definizione ottimale del dispositivo terapeutico, la cui risposta meccanica globale e locale deve essere correttamente modulata in relazione all'efficacia clinica richiesta. Il progetto dottorale si propone quindi di sviluppare algoritmi, formulazioni teoriche e modelli numerici di simulazione, che consentano la corretta previsione del comportamento meccanico dei materiali e delle strutture coinvolte (alle diverse scale: dalla scala del filamento di stampa fino alla scala macro del dispositivo), oltre che l'ottimizzazione dei processi di stampaggio, influenzati da processi multifisici altamente accoppiati (meccanici, termici, chimici).

Sulla base dei risultati ottenuti, sarà quindi possibile implementare un processo tecnologico-produttivo ottimale, ad altissimo grado di eco-sostenibilità, che consenta la produzione di dispositivi plantari terapeutici totalmente personalizzati e totalmente green. Oltre infatti all'uso di materiali che non richiedono procedure di smaltimento, il processo di stampa 3D consente la drastica riduzione (se il processo stesso è opportunamente ottimizzato) dei materiali di scarto, oltre che una notevole riduzione dei consumi energetici di produzione in confronto alle attuali metodologie.

Obiettivi formativi

L'obiettivo formativo principale che il progetto dottorale proposto intende perseguire e raggiungere è quello di consentire all'allievo dottorale di sviluppare autonomia scientifica nell'ambito di tematiche di ricerca avanzate proprie della Scienza delle Costruzioni e relative a: Meccanica dei Materiali, Meccanica delle Strutture, Meccanica Computazionale, Biomeccanica. Oltre a ciò, l'allievo dottorale svilupperà capacità di sintesi ed expertise applicative al fine di rendere efficacemente trasferibili in ambito industriale e produttivo i risultati raggiunti. Tali obiettivi implicano il raggiungimento di una serie di milestone di formazione avanzata, più che consistenti con gli standard formativi della scuola dottorale in Ingegneria Civile del nostro Ateneo. Alcune di esse sono sinteticamente riassunte nel seguito e riguardano lo sviluppo ed il consolidamento di conoscenze e competenze applicative connesse a:

- concezione, sviluppo ed implementazione ingegneristica di modelli e tecniche di produzione eco-sostenibili basate sull'additive manufacturing;
- concezione, sviluppo ed implementazione ingegneristica di modelli costitutivi avanzati che includano la descrizione di interazioni multifisiche accoppiate (meccaniche, termiche, chimiche) per analizzare il comportamento di specifici materiali biodegradabili da utilizzare per processi di additive manufacturing;
- concezione, sviluppo ed implementazione ingegneristica di modelli di analisi multifisica e multiscala per la definizione e l'ottimizzazione progettuale di strutture a geometria complessa, costituite da microstrutture materiali che assicurino specifiche prescrizioni delle proprietà meccaniche;
- metodi numerici avanzati (e.g., FEM, VEM, BEM) per l'analisi di materiali e strutture in ambito lineare e non lineare, e portando in conto interazioni multifisiche accoppiate e meccanismi multiscala;



- biomeccanica del piede e dell'ortesi plantare.

Attività previste

Il progetto prevede la realizzazione delle principali attività di seguito elencate:

- Ottimizzazione delle procedure di acquisizione e ricostruzione delle geometrie coinvolte, mediante tecniche di segmentazione e di fotogrammetria.
- Identificazione di metodologie e procedure di definizione di ortesi plantari personalizzati, sia in termini geometrici che di efficacia clinica.
- Sviluppo di formulazioni analitiche e modelli numerici per la definizione delle geometrie e della microstruttura del plantare sulla base della risposta terapeutica richiesta.
- Caratterizzazione meccanica dei materiali biodegradabili da utilizzare nel processo di stampa, valutazione dell'influenza dei fenomeni termochimici associati alla procedura di stampa, valutazione dei meccanismi di danno e di degrado delle proprietà costitutive.
- Modellazione ed analisi di plantari terapeutici per specifiche patologie, così da definire intervalli di risposta e parametri ottimi di produzione.

Negli ambiti appena descritti, sono previste:

- attività di modellazione teorica e numerica;
- attività sperimentale di caratterizzazione dei materiali e di validazione dei modelli sviluppati;
- attività di prototipazione per l'analisi e l'ottimizzazione di processo e di prodotto.

Tali attività saranno condotte sotto la guida scientifica del sottoscritto (prof. Giuseppe Vairo), ed in cooperazione con il prof. Michele Marino (DICII – Università di Roma “Tor Vergata”) ed il prof. Alessio Gizzi (Università Campus BioMedico di Roma), oltre che con la stretta collaborazione del team scientifico di Medere srl.

Attinenza del progetto all'area indicata

Il progetto, anche avendo un alto grado di innovazione tecnologica nella produzione delle ortesi plantari, si colloca nell'area green, prefiggendosi di sviluppare un'ortesi plantare completamente eco-sostenibile, e che nella fase conclusiva di vita del prodotto sia interamente compostabile. Inoltre, il progetto proposto prevede che il processo produttivo si basi sulla tecnologia dell'additive manufacturing (stampa 3D), in grado di assicurare (se il processo è ottimizzato) la riduzione degli scarti di produzione oltre che del consumo energetico.

Risultati attesi

Il progetto si prefigge di rivoluzionare la filiera produttiva delle ortesi plantari personalizzate, creando un processo produttivo completamente eco-sostenibile e definendo standard progettuali e tecnologici per la produzione di dispositivi plantari terapeutici completamente green. Per realizzare ciò, il progetto dovrà produrre risultati originali e di alto impatto scientifico nel contesto di:

- concezione e caratterizzazione meccanica di materiali avanzati biodegradabili per stampa 3D (in termini di risposta costitutiva, processi di degrado termo-chimico, meccanismi di danno);
- modellazione ed analisi della risposta meccanica (statica e dinamica) di strutture plantari (eventualmente caratterizzate da opportune microstrutture) costituite con tali materiali;



- modellazione e analisi dei meccanismi multifisici e multiscala connessi al processo di stampa;
- sviluppo di algoritmi e formulazioni per l'ottimizzazione di processo e di prodotto della filiera di riferimento.

L'azienda nazionale privata coinvolta, e presso cui l'allievo dottorale svolgerà un periodo non inferiore a 6 mesi e non superiore a 12 mesi in accordo con il D.M. 1061 del 10/08/2021, è

Medere srl

Sito web: <https://medere.it>

Indirizzo: Via Monasterace, 43, 00118 (Roma)

REA: RM-1561593

P. IVA 15004601009

Firma
