



Borsa di studio attivata ai sensi di quanto disposto dal D.M. n. 1061 del 10/08/2021

Titolo del progetto: Compositi green con filler naturali e materiali riciclabili industriali o urbani per applicazioni strutturali

La borsa sarà attivata sul seguente corso di dottorato accreditato per il XXXVII ciclo:

INGEGNERIA STRUTTURALE E GEOTECNICA

Responsabile scientifico: Trovalusci Patrizia

Area per la quale si presenta la richiesta: GREEN

Numero di mensilità da svolgere in azienda: 6

Numero di mensilità da svolgere all'estero: 6 presso Lublin University of Technology, Solid Mechanics Department, Faculty of Civil Engineering and Architecture, Lublin, Poland. Prof. Tomasz Sadowsky Head of Solid Mechanics Department

Azienda: Roofy Sr Viale Mazzini, 13, 50132 Firenze (FI)

Progetto di ricerca:

Negli ultimi decenni, i compositi polimerici sono stati ampiamente utilizzati e la loro quota di mercato è in costante aumento. È noto che la combinazione di un polimero con fibre solide presenta numerosi vantaggi, come ad esempio la miscela delle proprietà fisiche delle fasi solide come quelle meccaniche, acustiche, elettriche, ecc. [1]. Tuttavia, la sfida principale consiste nel superare le difficoltà nel riutilizzo e nel riciclo di questo tipo di materiali il cui fine ciclo di vita avviene generalmente con lo smaltimento in discarica o incenerimento. La quota di materiali deputata alla discarica o all'incenerimento ha un enorme effetto sugli ecosistemi umani in termini di costi, impatto ambientale e cambiamento climatico principalmente a causa della associata emissione di CO₂ [2,3]. Le risposte più utili a queste problematiche sono rappresentate dall'impiego di prodotti riciclati insieme a materiali biocompatibili per ottenere compositi per il futuro da introdurre in un ciclo di vita virtuoso. Il progetto è finalizzato all'individuazione di nuovi compositi realizzati unendo fibre naturali, quali lino, bambù, sisal, canapa, ramiè, iuta e legno (già utilizzato per il rinforzo del calcestruzzo [4]), con materiali riciclabili provenienti dall'industria ciclo dei rifiuti. La pietra miliare del progetto è la creazione di compositi riciclati attraverso un'innovativa tecnica di disaccoppiamento e non pirolisi. Un recente studio in questa direzione indaga la possibilità di ottenere materiali da costruzione leggeri utilizzando fibre ottenute dalla palma da datteri [5]. Nella prima fase, le fibre candidate verranno selezionate in base alle proprietà meccaniche esibite e all'impatto ambientale che ne deriva dal suo utilizzo. Verrà data priorità alle fibre provenienti da scarti di processi industriali che possono essere considerati naturali e alla possibilità di applicare tecniche di pretrattamento per migliorare l'adesione interfacciale e la resistenza al ritiro plastico. Altre caratteristiche importanti che verranno prese in considerazione sono il raggiungimento di un basso punto di fusione e una corretta rugosità superficiale. Verrà inoltre effettuato un processo di selezione delle matrici ospitanti individuando i materiali derivati dal riciclo dei rifiuti industriali o urbani. Il dottorando eventualmente selezionato avvierà l'indagine sulla base del recente stato dell'arte selezionando i migliori materiali in grado di superare le attuali limitazioni. Grande attenzione sarà posta alla proprietà di adesione tra la fibra e la matrice. Questa fase sarà condotta in collaborazione con l'azienda, e sarà propedeutica alla definizione del processo di fabbricazione e del prototipo strutturale da testare e validare. L'attività di fabbricazione sarà condotta dal dottorando presso la sede dell'azienda ospitante e sarà finalizzata a: (i) definire e ottimizzare il processo di fabbricazione; (ii) identificare diversi prototipi per l'operazione di test e validazione; (iii) produrre diversi prototipi per l'esecuzione di una campagna sperimentale parametrica da utilizzare per la modellazione e l'identificazione.

Un successivo periodo all'estero, ospitato dal partner di ricerca, sarà dedicato alla realizzazione di una campagna sperimentale per caratterizzare sperimentalmente le proprietà termomeccaniche del composito. In particolare, verranno studiate la rigidità, la resistenza e la dipendenza termica, nonché la tenacità a frattura. Questi risultati saranno utilizzati per stabilire un modello termomeccanico rappresentativo con l'obiettivo di definire una corretta procedura di omogeneizzazione che è fondamentale per indirizzare il nuovo materiale verso applicazioni nella vita reale. Il progetto proposto è inquadrato nel contesto del "Green Deal" europeo nel solco della creazione di nuovi materiali che soddisfino i requisiti di sostenibilità, basso impatto ambientale e applicabilità alle aree rurali e urbane povere.

La Carbon Dream Company (industria 4.0), con la sua decennale esperienza nella produzione di materiali compositi mediante produzione additiva per automotive, ingegneria aerospaziale e mandrini solubili, è una delle scelte migliori per un periodo in azienda in cui sarà in grado di beneficiare dell'esperienza professionale dei membri della società.

Inoltre il futuro dottorando trascorrerà un periodo nel laboratorio CMCM/CEMCAST - LUBLIN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY, Poland, "Centre of Excellence for Modern Composites Applied in Aerospace and Surface Transport Infrastructure": Mechanical characterization of composites microstructure.

Prof. Tomasz Sadowski (<http://en.pollub.pl/en/university/international-relations/international-research-projects-and-lut/cemcast>).

Nell'ambito di questa partnership si intende organizzare una campagna di prove sperimentali utilizzando la vasta esperienza dello staff del CMCM per verificare/validare i modelli meccanici proposti.

Titolo del progetto (inglese): Green Composites with natural fillers and industrial or urban recyclable materials for structural applications

Progetto di ricerca (inglese):

In the last decades, polymer composites have been widely employed, and their market share is steadily increasing. It is well recognized that combining a polymer with solid fillers presents numerous benefits, as for example, the blend of the physical properties of the solid phases such as mechanical, acoustical, electrical ones, etc. [1]. However, the main challenge consists to overcome the difficulties in the reuse and recycle of this type of materials whose end of life cycle happens with the dismissal in a dump or incineration. These operations have a huge effect on the human ecosystems in terms of costs, environmental impact, and climate change mainly due to the associated emission of CO₂ [2,3]. The most useful answers to these issues are represented by the employment of recycled products together with biocompatible materials in order to obtain the composites for the futures to be introduced in a virtuous life cycle. The project is aimed to identify new composites realized by combining natural fibers, such as flax, bamboo, sisal, hemp, ramie, jute, and wood (already use for concrete reinforcement [4]), with recyclable materials coming from the industrial or urban waste cycle. The milestone of the project is the creation of recycled composites through an innovative decoupling and non-pyrolysis technique. A recent study going in this direction investigates the possibility to obtain lightweight construction materials using date-palm mesh fibers [5]. In the first phase, candidate fibers will be selected according to the exhibited mechanical properties and the general environmental impact. A priority will be given to fibers coming from waste of industrial processes that can be considered natural and to the possibility of applying pretreatment techniques to enhance the interfacial adhesion and resistance towards moisture. Other important features that will be considered are the achievement of a low melting point and a proper surface roughness. A selection process will be also performed for the hosting matrices identifying the materials derived from the recycling of the industrial or urban waste. The eventually selected PhD student will start the investigation by the recent state of the art selecting the best materials capable to overcome the current limitations. Great attention will be paid to the adhesion property between the fiber and the matrix. This step will be conducted in collaboration with the company, and it will be preparatory to the definition of the manufacturing process and the structural prototype to test and

validate. The manufacturing task will be conducted by the PhD student in the location of the hosting company, and it will be targeted to: (i) define and optimize the manufacturing process; (ii) identify several prototypes for the operation of testing and validation; (iii) produce different prototypes for performing a parametric experimental campaign to be used for modeling and identification.

A following period abroad, hosted by the research partner, will be focused to perform an experimental campaign to experimentally characterize the thermo-mechanical properties of the composite. In particular, the stiffness, strength, and thermal dependency, as well as the fracture toughness, will be investigated. These results will be employed to establish a representative thermo-mechanical model with the aim of defining a proper homogenization procedure that is fundamental for addressing the new material towards real life applications. The proposed project is framed in the context of the European Green Deal in the groove of creating new materials which fit the requirements of sustainability, low environmental impact, and applicability to rural and poor urban areas.

The Carbon Dream Company (industry 4.0), with its decades of experience in the production of composite materials using additive manufacturing for automotive, aerospace engineering and soluble mandrels, is one of the best choices for a period in the company where he/she will be able to benefit from the professional experience of the company members.

In addition, the future doctoral student will spend a period in the laboratory CMCM/CEMCAST - LUBLIN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY, Poland, "Centre of Excellence for Modern Composites Applied in Aerospace and Surface Transport Infrastructure": Mechanical characterization of composites microstructure.

Prof. Tomasz Sadowsky (<http://en.pollub.pl/en/university/international-relations/international-research-projects-and-lut/cemcast>).

Within this partnership we are going to arrange a campaign of experimental tests using the wide experience of the CMCM staff to verify/validate mechanical models proposed.

[1] La Mantia, F. P., & Morreale, M. (2011). Green composites: A brief review. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 42(6), 579-588.

[2] Netravali, A. N., & Chabba, S. (2003). Composites get greener. *Materials today*, 4(6), 22-29.

[3] Rozman, H. D., Lai, C. Y., Ismail, H., & Ishak, Z. A. M. (2000). The effect of coupling agents on the mechanical and physical properties of oil palm empty fruit bunch–polypropylene composites. *Polymer International*, 49(11), 1273-1278.

[4] Archila, H., Kaminski, S., Trujillo, D., Escamilla, E. Z., & Harries, K. A. (2018). Bamboo reinforced concrete: a critical review. *Materials and Structures*, 51(4), 1-18.

[5] Vantadori, S., Carpinteri, A., & Zanichelli, A. (2019). Lightweight construction materials: Mortar reinforced with date-palm mesh fibres. *Theoretical and Applied Fracture Mechanics*, 100, 39-45.