

# SCHEMA PER LA RELAZIONE ANNUALE DEL DOTTORANDO

## \_XXXI\_ CICLO

• Nome e Cognome \_\_\_\_\_Yanchuan\_\_\_\_\_hui\_\_\_\_\_

☒ Dottorato in **MECCANICA**

☐ **CLUSTER**\_\_\_\_\_

• Ciclo \_XXXI\_ Anno di Corso \_2016/2017\_

• Dipartimento di afferenza Dimeas

• Coordinatore **Prof. Luigi GARIBALDI**

• Tutore \_\_\_\_\_Prof. Erasmo Carrera\_\_\_\_\_

• Area Culturale di Interesse (in Italiano e Inglese)

Meccanica di strutture in materiale composito

Mechanical modelling of composite material structures\_

• Breve descrizione dell'argomento della tesi o dell'Area Culturale di Interesse (massimo 20 righe, in Italiano e Inglese)

Inglese:

The multi-scale method is efficient and computationally attractive for the analysis and modeling of heterogeneous materials, which realizes procedure of information exchange between microscopic and macroscopic scale and can detect damages of composite structures from microscopic scale.

The aim of first year's research activity is to develop a computationally efficient multi-scale model to accurately simulate and analyze the instability phenomena of long fiber-reinforced composites. Towards this end, the Fourier-related double scale analysis and the multi-level finite element method (FE2) are combined to reduce the computational cost. Although the FE2 method permits to save a lot of degrees of freedoms, its computational cost is still expensive due to the fact that all the RVEs on the Gauss points of macroscopic model need a sufficient fine mesh to capture the local buckling of long fibers. To overcome this difficulty, the Fourier-related double scale analysis is carried out on the RVEs. The established non-linear multi-scale system is solved by the Asymptotic Numerical Method (ANM), which is more reliable and less time consuming than other iterative classical methods. A multi-scale analysis of fibre reinforced composite beams is the second year's research activity. At structural level, several higher-order refined beam theories can be easily implemented on the basis of Carrera's unified formulation (CUF) by deriving a fundamental nucleus that does not depend upon the approximation order nor the number of nodes per element (they are free parameters of the formulation). Within the framework of FE2 method, the effective properties of the fibre-reinforced composite material are found by numerical homogenization over representative volume elements. Consequently, a coupled two-scale problem is obtained for linear cases. Results are validated in terms of accuracy towards FEM solutions. Numerical investigations show that accurate results can be obtained with reduced computational costs.

Italiano:

Il metodo multi-scala è un metodo computazionalmente efficiente per l'analisi e la modellazione di materiali eterogenei. Esso si basa su uno scambio di informazioni tra la scala microscopica e quella macroscopica e, tra le varie applicazioni, ha un'importanza significativa per il rilevamento di danneggiamenti in materiali compositi nella microscala.

L'obiettivo di questa attività di ricerca è quello di sviluppare un modello multi-scala computazionalmente efficiente e simulare accuratamente fenomeni di instabilità di compositi rinforzati a fibre lunghe. Al fine di ridurre i costi computazionali, la formulazione utilizza un'analisi di Fourier a doppia scala e un metodo agli elementi finiti multi-livello (FE2). Sebbene il metodo FE2 permette di risparmiare molti gradi di libertà della formulazione, il suo costo computazionale è tuttavia ancora troppo pesante, poiché ciascun volume elementare rappresentativo (RVE) in ciascun punto di Gauss del modello macroscopico richiede una mesh sufficientemente raffinata per rilevare il buckling locale della fibre. Per superare questa difficoltà, un'analisi di Fourier a doppia scala è stata utilizzata sugli RVE. Il problema multiscala nonlineare è risolto con l'utilizzo dell'Asymptotic Numerical Method (ANM), che risulta essere più affidabile e più efficiente di altri metodi iterativi classici. Nel secondo anno di attività, sono state effettuate ulteriori analisi multi-scala di travi composite rinforzate con fibre. A livello strutturale, diverse teorie di alto ordine per le travi

sono state analizzate attraverso la Carrera's Unified Formulation (CUF), grazie alla derivazione di un unico nucleo fondamentale che non dipende dall'ordine di approssimazione né dal numero di nodi per elemento. Inoltre, uno studio delle proprietà elastiche effettive di materiali compositi rinforzati con fibre è stato effettuato attraverso un omogeneizzazione numerica dei volumi elementari rappresentativi e il metodo FE2.

Un problema a due scale accoppiate e' stato analizzato per casi lineari. I risultati sono stati validati attraverso soluzioni FEM commerciali. Analisi numeriche mostrano che risultati accurati possono essere ottenuti con minori costi computazionali.

- Attività di formazione svolta nell'anno (corsi, seminari, etc.); per ogni attività specificare natura, durata e sede

1 LIST PhD Day Seminar (Lussemburgo, 8 Dicembre, 2016)

2 Computational Methods for the Analysis, Design, and Failure of Composites (Udine, Italia, 3-7 Aprile, 2017)

3 Workshop on Composites Manufacturing and Process Simulation (Bristol, UK, 19-21 Giugno, 2017)

4 2nd Exploratory Workshop: Applications of Model Order Reduction Methods in Industrial Research and Development (Lussemburgo, 10 Marzo, 2017)

5 Chercheurs à l'école (Lussemburgo, 27-31 Marzo, 2017)

6 Servosistemi meccanici (Torino, Italia, Maggio, 2017)

7 Linear viscoelasticity of Materials (Torino, Italia, Maggio, 2017)

8 Continuum Damage Model for composite Materials (Torino, Italia, Luglio, 2017)

9 Self-management techniques for work environment (Torino, Italia, 10 Giugno- 22 Luglio, 2017)

10 20<sup>th</sup> International Conference on Composite Structures (Paris, Francia, 4-7 Settembre, 2017)

- Eventuale partecipazione del Dottorando ad ulteriori attività di ricerca nell'anno (progetti e convenzioni di ricerca)

EU Marie Curie Innovative Training Network grant agreement no. 642121, research project "FULLCOMP: Fully integrated analysis, design, manufacturing and health-monitoring of composite structures".

- Eventuale partecipazione del Dottorando ad Attività interne di supporto alla didattica nell'anno (specificare su quali corsi, e se eventualmente il Dottorando sia stato nominato Cultore della Materia)

\_\_\_\_\_None\_\_\_\_\_

- Eventuali soggiorni presso altri Centri di Ricerca nell'anno

Luxembourg Institute of Science and Technology (LIST), Ottobre 2016- Maggio 2017, Agosto 2017- Settembre 2017 \_\_\_\_\_

- Eventuali collaborazioni con imprese nell'anno

\_\_\_\_\_None\_\_\_\_\_

- Elenco delle Pubblicazioni del Dottorando

#### Journal papers

1 G. De Pietro, Y. Hui, G. Giunta, S. Belouettar, E. Carrera, H. Hu, Hierarchical onedimensional finite elements for the thermal stress analysis of three-dimensional functionally graded beams, Composite Structures, 153: 514-528, 2016. <http://dx.doi.org/10.1016/j.compstruct.2016.06.012>

2 Y. Hui, G. Giunta, S. Belouettar, Q. Huang, H. Hu, and E. Carrera, A free vibration analysis of three-dimensional sandwich beams using hierarchical one-dimensional finite elements, 110: 7-19, 2017. <http://dx.doi.org/10.1016/j.compositesb.2016.10.065>

#### Conference proceedings

1 Y. Hui, R. Xu, Q. Huang, H. Hu, A Fourier-related FE2 Multiscale Model for Instability Phenomena of Long Fiber Reinforced Materials. WCCM & APCOM, Seoul, Korea, 2016.

2 Y. Hui, R. Xu, H. Hu, G. Giunta, S. Belouettar, A Novel FE2 Method Based Fourier Macroscopic Model for Instability Phenomena of Long Fiber Reinforced Composites. ICCS19, Porto, Portugal, 2016.

3 Y. Hui, G. Giunta, S. Belouettar, E. Carrera, H. Hu. A hygro-thermal stress finite element analysis of laminated beam structures by hierarchical one-dimensional modelling. International Conference DeMEASS VII, 2017.

4 Y. Hui, G. Giunta, S. Belouettar, E. Carrera, H. Hu. A multi-scale model of fibre reinforced beams using hierarchical one-dimensional finite elements. ICCS20, 2017.  
Torino,

田彦川

\_\_\_\_\_  
Firma del Tutore

\_\_\_\_\_  
Firma del Dottorando

Il Coordinatore