

## **A. RICERCA PROPOSTA**

### **1) Tema della ricerca e coerenza con la Strategia Nazionale di Specializzazione Intelligente (SNSI) approvata dalla Commissione Europea**

TEMA DELLA RICERCA: “Nuove frontiere nella meccanica delle funi: modellazione e realizzazione di una fune con funzioni intelligenti”.

La ricerca proposta è incentrata sulla modellazione, progettazione e realizzazione di funi con funzioni intelligenti, ovvero, funi il cui comportamento meccanico, sotto carichi antropici ed ambientali, sia controllabile e monitorabile nel tempo, per mezzo di un’adeguata rete di dispositivi piezoelettrici. Al contempo, i medesimi dispositivi piezoelettrici avranno anche la funzione di trasformare l’energia meccanica, dovuta all’oscillazione della fune, in energia elettrica, realizzando il cosiddetto recupero di energia, o ‘energy harvesting’.

Il progetto, coerentemente con lo spirito dei PON – Dottorati industriali, è animato dall’idea di far interagire conoscenze provenienti dal mondo dell’Accademia, e in particolare dalle Scienze Esatte e dall’Ingegneria, con competenze e bisogni provenienti da imprese di eccellenza.

Il tema della ricerca mostra diversi aspetti di coerenza con la Strategia Nazionale di Specializzazione Intelligente. In particolare, con riferimento alle Aree Tematiche Nazionali, essa si colloca naturalmente nell’area “Agenda Digitale, Smart Communities, Sistemi di mobilità intelligente”. Tra gli obiettivi del progetto vi è, infatti, quello di ‘rafforzare’ le infrastrutture a fune esistenti, in termini di: i) miglioramento dell’efficienza nel trasporto passeggeri e merci, attraverso il controllo strutturale (passivo e semi-attivo); ii) riduzione dei costi e mantenimento di elevati livelli di efficienza e di sostenibilità ambientale (attraverso il monitoraggio).

Altro aspetto di coerenza della ricerca proposta con la SNSI è relativo al tema nazionale “Industria intelligente e sostenibile, energia e ambiente”. Infatti, la proposta mira a rendere le imprese del settore dei trasporti a fune più competitive rispetto ai paesi emergenti, attraverso lo sviluppo combinato di sostenibilità ambientale e di innovazione tecnologica. Estrarre energia dalle oscillazioni di funi va, infatti, inteso come un aspetto di possibile interesse per il settore dell’energia, laddove la progettazione ed implementazione di nuove tecnologie (dispositivi, sistemi di monitoraggio e controllo) è rivolta ad aumentare l’efficienza nell’uso delle risorse disponibili e l’individuazione di risorse alternative.

### **2) Attività di ricerca proposta, metodologie e contenuti**

Negli ultimi anni l’interesse verso la realizzazione di dispositivi in grado di recuperare energia dalle vibrazioni è in costante crescita. Per recuperare questa energia si fa uso di elementi attivi, in grado di associare ad una vibrazione meccanica la generazione di un segnale elettrico, oppure di generatori elettromagnetici. Non è da sottovalutare, inoltre, la circostanza che, come effetto dell’estrazione di energia, le relative vibrazioni vengono smorzate, trasformando il sistema di recupero in un sistema di controllo.

L’utilizzo degli elementi piezoelettrici per il controllo delle vibrazioni è largamente diffuso in letteratura, grazie alla capacità di questi elementi di generare una carica elettrica quando sottoposti a delle deformazioni meccaniche e, viceversa, di deformarsi se ad essi viene applicata una differenza di potenziale. Questa tipologia di comportamento permette ai materiali piezoelettrici di agire al contempo come sensori e come attuatori. In letteratura, sono state proposte diverse strategie di

controllo delle vibrazioni mediante trasduttori piezoelettrici; tuttavia, le problematiche legate all'estrazione di energia da un sistema meccanico in vibrazione, con un rapporto di trasformazione efficiente, restano tuttora aperte.

La realizzazione di modelli strutturali affidabili nella descrizione del comportamento di funi è un tema scientifico relativamente recente (Irvine, anni '70). Diverse problematiche risultano insolute, in particolare, riguardo: i) alla modellazione delle proprietà macroscopiche di smorzamento della fune, derivanti dalla sua microstruttura; ii) alla corretta descrizione del comportamento dinamico della fune sotto l'azione del vento ed i fenomeni di interazione fluido/struttura.

Il principale obiettivo di questo progetto è di ottenere un avanzamento scientifico e tecnologico sulle funi, in particolare, riguardo: i) alla modellazione delle proprietà di smorzamento e degli effetti di interazione con l'aria; ii) al monitoraggio non distruttivo; iii) al recupero dell'energia; iv) al controllo passivo e semi-attivo.

Questo obiettivo sarà perseguito attraverso tre attività principali: i) la modellazione ed analisi della fune in assenza di elementi piezoelettrici; ii) l'implementazione del modello attraverso l'inserimento di elementi piezoelettrici e la progettazione del sistema elettrico di monitoraggio/recupero/controllo; iii) la prototipazione e sperimentazione della fune con e senza elementi piezoelettrici e la valutazione dell'efficacia dei medesimi.

Le metodologie che saranno utilizzate sono da ricondurre ai metodi variazionali sui quali si basa la Meccanica dei Continui, attraverso i quali saranno ottenute le equazioni del moto del sistema intelligente. Queste verranno studiate attraverso metodi numerici e metodi asintotici, al fine di ottenere soluzioni semi-analitiche, utili alla valutazione del ruolo ed importanza dei parametri elettromeccanici coinvolti.

### **3) Grado di innovazione della ricerca proposta per il settore di intervento**

La modellazione matematica di funi è un tema di ricerca che già da diversi decenni ha attratto l'attenzione di scienziati di varia provenienza. L'importanza di questa linea di ricerca ed il suo grado di innovazione nel settore della Meccanica Strutturale, è testimoniata dalla varietà e vastità dei campi di applicazione: questi, infatti, spaziano dai sistemi dei trasporti a fune, ai ponti a fune (sospesi, strallati, ecc...), dai sistemi di sollevamento, alle funi utilizzate per scopi nautici. Inoltre, la complessità, dal punto di vista matematico e i numerosi problemi aperti, ne fanno un tema di ricerca quanto mai attuale e di rilevanza.

I modelli sviluppati fino a oggi possono essere certamente migliorati in varie direzioni, sia per quanto riguarda le loro capacità predittive che per gli strumenti matematici usati. Inoltre, l'utilizzo di sensori/attuatori piezoelettrici, è un aspetto innovativo che non vede, ad oggi, significative applicazioni sulle strutture a fune.

In particolare, il grado di innovazione della ricerca proposta si concretizza in maniera rilevante nelle seguenti tematiche:

- i) utilizzare nuovi modelli di fune, predittivi del reale comportamento di strutture a fune, dotati di dispositivi piezoelettrici ed in cui sia stata adottata una modellazione appropriata delle capacità di smorzamento strutturale;
- ii) procedere all'implementazione numerica, anche mediante tecniche agli elementi finiti non standard, nonché alla ricerca di soluzioni semi-analitiche dei modelli sviluppati;
- iii) realizzare campioni (e correlati set-up) sperimentali per confermare i criteri e le ipotesi di progettazione adottati, validare il comportamento degli elementi strutturali proposti ed ottimizzarne i parametri elettro-meccanici.

In aggiunta, gli aspetti concernenti la modellazione della fune intelligente, che collocano questo studio in una posizione di rilievo nella letteratura scientifica internazionale, in termini di innovazione scientifica e tecnologica, sono da ricondurre:

- i) allo studio del suo comportamento dinamico lineare e non;
- ii) alla presenza di attuatori e circuiti “embedded” distribuiti.

#### **4) Cronoprogramma di attuazione**

Il cronoprogramma di attuazione è così articolato:

- i) nel primo semestre di Dottorato, lo studio, presso l'Università dell'Aquila, della Meccanica dei Continui e dei relativi complementi di Analisi Matematica;
- ii) nel secondo semestre, lo studio, presso l'Università dell'Aquila, di metodi numerici adatti all'implementazione di problemi in forma debole, dei principali modelli esistenti per la descrizione delle funi, dei metodi perturbativi per lo studio di sistemi dinamici non lineari;
- iii) nel terzo semestre la modellazione, presso l'Università dell'Aquila, della fune con smorzamento diffuso ed azioni aerodinamiche; nello stesso semestre lo studente di Dottorato, partendo da quanto sviluppato in passato sul tema da docenti dell'Università dell'Aquila, svolgerà una fase di studio sull'utilizzo dei dispositivi piezoelettrici nella meccanica strutturale;
- iv) nel quarto semestre, un periodo da trascorrere presso l'Università Paris Est Créteil Val de Marne (UPEC), per la modellazione dei dispositivi piezoelettrici e per la definizione delle strategie di controllo e monitoraggio;
- v) nel quinto semestre, il distaccamento presso l'azienda (Usha Martin Italia) per lo sviluppo di competenze sulla progettazione di funi e per la realizzazione di un prototipo di fune intelligente, con la supervisione scientifica del tutor aziendale;
- vi) nel sesto semestre l'implementazione numerica, lo studio teorico e la produzione di elaborati di sintesi dei risultati sviluppati durante il distaccamento in azienda e il periodo all'estero, nonché la redazione finale della tesi di Dottorato.

### **B. ATTIVITÀ DA SVOLGERE PRESSO L'IMPRESA con sede nell'intero territorio nazionale**

#### **1) Attività di ricerca da svolgere presso l'impresa**

Nel periodo di distaccamento presso l'impresa “Usha Martin Italia” lo studente di Dottorato svolgerà il suo lavoro di ricerca e sperimentazione sotto la guida di un tutor fornito dall'impresa stessa. Il lavoro sarà articolato in due fasi.

Durante la prima fase, della durata di 2 mesi, vi sarà un trasferimento di conoscenze in merito alle varie fasi di progettazione, realizzazione e monitoraggio di funi ed il dottorando, sotto la guida del tutor, redigerà un piano di lavoro dettagliato per il restante periodo di permanenza previsto in azienda.

Nella seconda fase, della durata di 4 mesi, il dottorando dovrà utilizzare le informazioni e le conoscenze di cui alla fase precedente, al fine di sviluppare dei prototipi di funi e delle prove sperimentali sugli stessi, al fine di corroborare i risultati ottenuti dal modello teorico, sviluppato nel suo progetto di tesi di Dottorato. I risultati, in termini di comportamento dinamico della fune, con e senza dispositivi piezoelettrici, saranno discussi, dapprima con il tutor aziendale. In seguito, una fase di ottimizzazione e taratura dei parametri elettro-meccanici, sarà realizzata con il supporto del

tutor straniero e del supervisore interno al Collegio di Dottorato in Matematica e Modelli dell'Università degli Studi dell'Aquila.

**2) Denominazione dell'impresa presso cui verrà svolta l'attività relativa al tema di ricerca**

Usha Martin Italia e aziende del gruppo Usha Martin Ltd.

**3) Sede legale dell'impresa (Città, Provincia, indirizzo)**

Concesio (BS), via Antonio Segni 6, 25062

**4) Sede operativa principale (e se pertinente unità organizzativa) presso cui è svolta l'attività di ricerca del dottorando (Città, Provincia, indirizzo)**

Concesio (BS), via Antonio Segni 6, 25062

**C. ATTIVITA' ALL'ESTERO**

**1) Attività di ricerca da svolgere all'estero**

Nel periodo di permanenza all'estero lo studente di Dottorato si occuperà di modellazione dei dispositivi piezoelettrici e della definizione delle strategie di controllo, estrazione di energia e monitoraggio, rivolte alla realizzazione di funi intelligenti. Egli dovrà progettare un modello di fune piezoelettrica, sotto la supervisione del tutor straniero, e secondo un piano di lavoro articolato in 3 fasi

Nella prima fase, della durata di tre mesi, lo studente di Dottorato si occuperà della realizzazione del modello matematico di fune piezoelettrica, definendo la tipologia di dispositivo piezoelettrico da utilizzare, la modalità di applicazione dello stesso alla fune e le caratteristiche del circuito elettrico. In questa stessa fase egli svilupperà dei test numerici per ottimizzare la tipologia e la disposizione dei piezoelettrici, utilizzandoli come sensori per il monitoraggio di tensioni e deformazioni della fune.

Nella seconda fase, della durata di due mesi, lo studente di Dottorato si occuperà dell'ottimizzazione meccanica della struttura al fine di determinare, da un punto di vista qualitativo e quantitativo, i parametri strutturali importanti per massimizzare l'energia convertita dal piezoelettrico e per controllare le oscillazioni della fune.

Nella terza fase, della durata di un mese, lo studente di Dottorato svilupperà una procedura di ottimizzazione del circuito elettrico al fine di determinare i parametri elettrici importanti per estrarre la maggiore quantità di energia possibile dal piezoelettrico ed individuare le strategie di controllo delle oscillazioni della fune.

**2) Denominazione del soggetto ospitante all'estero (università, ente di ricerca pubblico o privato, impresa)**

Faculté de Sciences et Technologie - Laboratoire de Modélisation et Simulation Multi Échelle, Université Paris Est Créteil Val de Marne (UPEC)

**3) Sede legale del soggetto ospitante all'estero (Città, paese, indirizzo)**

61 avenue du Général de Gaulle, Créteil Cedex, France

**4) Sede operativa principale (e se pertinente unità organizzativa) presso cui è svolta l'attività di ricerca all'estero (Città, paese, indirizzo)**

61 avenue du Général de Gaulle, Créteil Cedex, France

**D. ATTIVITA' FORMATIVA PRESSO L'UNIVERSITA'**

**1) Modalità di svolgimento e contenuti delle attività integrative di formazione destinate al dottorando (oltre a quelle già previste dal corso di dottorato) rilevanti per il percorso individuato**

Lo studente di Dottorato, seguirà alcune attività integrative di formazione, oltre a quelle già previste dal Dottorato in Matematica e Modelli dell'Università degli Studi dell'Aquila. In particolare, egli:

- i) seguirà un corso universitario di calcolo numerico agli elementi finiti (60 ore), riguardante l'implementazione di problemi di Meccanica del Continuo in forma debole. In questo, lo studente potrà usufruire delle strutture messe a disposizione dall'Università degli Studi dell'Aquila (Laboratorio di Meccanica Computazionale).
- ii) seguirà un mini-corso (20 ore) a lui dedicato sulla modellazione avanzata di continui monodimensionali, quali travi e cavi, in regime di piccole e grandi deformazioni.
- iii) seguirà un corso di perfezionamento della lingua inglese presso il Centro Linguistico dell'Università degli Studi dell'Aquila.

**2) Elementi di co-progettazione o intervento diretto da parte dell'impresa**

L'impresa coinvolta nel progetto di Dottorato (Usha Martin Italia) interverrà direttamente:

- i) nella co-progettazione delle funi intelligenti per applicazioni a casi reali;
- ii) nella realizzazione di prototipi e test sperimentali propedeutici al trasferimento tecnologico verso il mondo industriale dell'attività di ricerca proposta.

In particolare, le competenze fornite attraverso la supervisione scientifica del tutor aziendale saranno importanti per focalizzare al meglio le esigenze del mercato ed i contesti (di breve, medio e lungo termine) in cui le metodologie e tecnologie proposte possono trovare una naturale collocazione.