

A. RICERCA PROPOSTA

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

La ricerca qui proposta si inquadra nell'ampio tema del monitoraggio strutturale di edifici di pregio. A fronte dell'inesestimabile patrimonio monumentale costituito da edifici di rilevanza artistica e architettonica di cui l'Italia e, nello specifico, la Regione Abruzzo si pregia, è ben noto che il rischio associato ad eventi catastrofici quali quelli di tipo sismico o idro-geologico è purtroppo estremamente elevato. Ciò implica che il patrimonio artistico è affetto da una notevole vulnerabilità che impone, a questa e alle future generazioni, una particolare cura per la sua preservazione. Ha quindi decisivo interesse sviluppare tecniche innovative, finalizzate ad una valutazione in tempo reale, o comunque in tempo molto ridotto, delle caratteristiche meccaniche e delle condizioni di sicurezza statica e dinamica degli edifici monumentali. In tal modo, si vuole arrivare a percepire in modo sistematico e rapido il possibile innesco di fattori di rischio nonché avere un'immediata consapevolezza dell'eventuale livello di danneggiamento. Se nell'ultimo decennio la letteratura scientifica si è arricchita di numerosi contributi dedicati al problema del monitoraggio strutturale, la grande maggioranza di questi è rivolta a tecniche basate su sistemi di acquisizione temporanei e con successiva, non necessariamente immediata, elaborazione dei dati. Inoltre, le attività di ricerca sono state prevalentemente dedicate ad edifici in cemento armato o acciaio, di nuova costruzione o esistenti, a causa del relativamente alto grado di affidabilità dei modelli strutturali relativi. La ricerca qui proposta mira invece ad arricchire il panorama della tecnologia di monitoraggio strutturale, da dedicare prevalentemente ad edifici esistenti in muratura, di pregio architettonico, facendo uso di sistemi avanzati basati sul cablaggio con reti di fibra ottica combinate con elementi piezoelettrici distribuiti. L'obiettivo è, in primo luogo, quello di definire in modo rigoroso le fasi di progettazione e realizzazione delle architetture di acquisizione continuativa, da immergere in pannelli murari e intonaci dell'edificio oggetto di indagine, nonché caratterizzare l'elaborazione dei risultati e l'innesco dei sistemi di warning. Tale ricerca si colloca quindi pienamente nell'ambito dell'area tematica SNSI "Agenda Digitale, Smart Communities, Sistemi di mobilità intelligente" ed in particolare nella traiettoria di sviluppo "Sistemi per la sicurezza dell'ambiente urbano, il monitoraggio ambientale e la prevenzione di eventi critici o di rischio", mirando in ultima analisi ad aumentare, in maniera intelligente e non invasiva, la sicurezza degli edifici. Tuttavia, la particolare attenzione rivolta al patrimonio monumentale colloca naturalmente la ricerca anche nel contesto "Turismo, Patrimonio culturale e industria della creatività", nella traiettoria "Tecnologie e applicazioni per la conservazione, gestione e valorizzazione dei beni culturali, artistici e paesaggistici".

2) Attività di ricerca proposta, metodologie e contenuti

Svolgere operazioni su un bene vincolato può risultare particolarmente dispendioso e delicato. Infatti ogni intervento di riparazione e miglioramento del comportamento statico e dinamico deve essere preceduto inevitabilmente da una dettagliata e consapevole analisi delle caratteristiche strutturali, volta alla definizione inequivocabile del comportamento in ambito localizzato e, possibilmente, di insieme dell'organismo strutturale. La fase progettuale di tali interventi si basa di solito su modelli numerici interpretativi del comportamento della struttura (modelli ad elementi finiti, analisi di sottostrutture etc.) che spesso non hanno la capacità di descrivere con un sufficiente grado di attendibilità il comportamento al vero. Per questo, a valle di interventi di riparazione e

miglioramento, risulta imprescindibile un'attenta osservazione delle condizioni statiche e della risposta dinamica della struttura, non solo in corrispondenza di eventi di intensità importante, quali terremoti o frane, ma anche di micro tremori ambientali dovuti, ad esempio, al traffico veicolare nei dintorni o al vento. Lo scopo è quello di poter constatare in tempo reale la regolarità e continuità del comportamento strutturale, evidenziando, in caso, i momenti in cui una azione induce effetti non trascurabili, rendendo necessario un intervento di ordinaria o straordinaria manutenzione.

Si intende quindi intraprendere una attività di ricerca finalizzata alla progettazione completa di un sistema di monitoraggio strutturale per edifici di pregio, quali ad esempio chiese e palazzi storici. Essa parte dalla rigorosa definizione di reti di acquisizione dati a tempo continuo, basate sull'uso combinato di fibre ottiche ed elementi distribuiti piezoelettrici, da immergere in modo continuo nei pannelli murari o negli intonaci. Da una parte, le reti di fibra ottica sfrutteranno il fenomeno di diffrazione stimolata di Brillouin, che consente di collegare le proprietà ottiche (frequenza della luce iniettata all'interno della fibra) allo stato tensionale e termico della fibra stessa. Questa caratteristica è diffusa lungo la fibra e pertanto, mediante opportuni analizzatori ottici, è possibile, con precisione centimetrica risalire al profilo termico e tensionale dell'intera fibra. Dall'altra, si sfrutterà la ben nota capacità degli elementi piezoelettrici 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 tali materiali di agire al contempo come sensori e, se necessario, come attuatori.

Tutto ciò richiederà naturalmente una attenta fase di modellazione e caratterizzazione strutturale dei pannelli murari e, più in generale, della struttura nella sua globalità.

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

La ricerca, rivolta all'uso di tecnologie avanzate per il monitoraggio strutturale di edifici di pregio, prospetta un notevole grado di innovazione. In particolare, risulta evidente il vantaggio generalizzato per il patrimonio monumentale che deriva dall'utilizzo delle tecniche proposte. Esse infatti garantiscono una pressoché nulla invasività dal punto di vista estetico, senza dunque intaccare il valore artistico, nonché la continua fruibilità della struttura. A questo si associa la possibilità di avere a disposizione una costante e rigorosa valutazione del grado di sicurezza della struttura ed eventualmente, del livello di danno a seguito di eventi ambientali, quali ad esempio, sismi o frane.

La combinazione di fibre ottiche e strati continui di materiali piezoelettrici, da immergere nei pannelli murari, rappresenta infatti una novità le cui potenzialità sono molteplici. Inoltre, l'approccio basato su una attendibile modellazione statica e dinamica delle strutture oggetto dell'intervento rappresenta un valore aggiunto alla qualità e all'impatto della ricerca.

4) Cronoprogramma di attuazione

Il cronoprogramma è organizzato in sei semestri ed è articolato come segue:

- I semestre, da spendere presso la sede del Dottorato: approfondimento delle tematiche di meccanica del continuo, con particolare riferimento alle strutture in muratura;
- II semestre, da spendere presso la sede del Dottorato: studio delle tecniche di monitoraggio strutturale e approfondimento delle problematiche e limitazioni connesse;
- III semestre, da spendere presso il partner accademico: modellazione di dispositivi piezoelettrici e approfondimento delle problematiche relative all'interfacciamento con modelli strutturali bidimensionali;

- IV semestre, da spendere presso il partner industriale: approfondimento e sviluppo di tecniche di acquisizione di dati meccanici attraverso cablaggio con fibre ottiche;
- V semestre, da spendere presso la sede del Dottorato: definizione e caratterizzazione dell'innovazione tecnologica nel tema del monitoraggio strutturale con la combinazione di reti di fibra ottica e patch piezoelettriche;
- VI semestre, da spendere presso la sede del Dottorato: simulazioni e applicazioni reali, con verifica di validità delle procedure.

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, lo studente di Dottorato svolgerà il proprio 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 e realizzazione di sistemi di acquisizione dei dati strutturali attraverso reti di fibra ottica. 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 sistemi di acquisizione da dedicare in maniera specifica agli edifici in muratura, con possibilità di implementazione diretta nei cantieri gestiti dall'impresa. I risultati, in termini di qualità del sistema di acquisizione e affidabilità dei dati, saranno discussi con il tutor aziendale. In seguito, una fase di elaborazione dei dati e valutazione generale della tecnologia sarà svolta con il supporto del tutor straniero e del supervisore interno al Collegio di Dottorato in Ingegneria Civile, Edile-Architettura e Ambientale dell'Università degli Studi dell'Aquila.

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

Innovations srl

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

Via Y. Gagarin 69 – 06073 San Mariano Di Corciano (Pg)

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

Innovations Srl - Via Y. Gagarin 69 – 06073 San Mariano Di Corciano (Pg)

C. ATTIVITÀ ALL'ESTERO

1) Attività di ricerca da svolgere all'estero

Nel periodo di permanenza all'estero lo studente di Dottorato si occuperà delle problematiche associate alla modellazione dei dispositivi piezoelettrici e alla definizione delle strategie di

affiancamento di questi con le reti di fibre ottiche, con finalità di monitoraggio strutturale di edifici monumentali in muratura. La supervisione del docente straniero fornirà l'indirizzo necessario per svolgere tale attività, da realizzare secondo un piano di lavoro articolato in tre fasi.

Nella prima fase, della durata di due mesi, lo studente di Dottorato si occuperà dello studio dei modelli matematici dei dispositivi piezoelettrici, delle relative potenzialità e delle possibili applicazioni in combinazione con elementi strutturali, per finalità che non siano solo di sensoristica ma anche di attuazione.

Nella seconda fase, della durata di due mesi, lo studente di Dottorato si occuperà della definizione specifica di strategie di monitoraggio strutturale con l'uso di dispositivi piezoelettrici, nonché della valutazione degli effetti meccanici che l'interazione di tali dispositivi con gli elementi strutturali tipo pannelli murari causano nella risposta locale e globale dell'edificio oggetto dell'analisi.

Nella terza fase, di durata di tre mesi, si occuperà dello studio della combinazione degli elementi piezoelettrici con le reti di fibra ottica, nello spirito di cogliere il valore aggiunto che l'utilizzo contiguo delle due tecniche può fornire per le finalità proposte.

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 Echelle, 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 Ingegneria civile, edile-architettura, ambientale dell'Università degli Studi dell'Aquila. In particolare, egli seguirà:

i) un corso 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) un mini-corso (20 ore) a lui dedicato sulla modellazione avanzata di continui bidimensionali in regime di piccole e grandi deformazioni.

iii) un mini-corso (20 ore) a lui dedicato sulla modellazione delle costruzioni esistenti in muratura e relative criticità;

iv) 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'attività di ricerca richiederà il coinvolgimento diretto dell'impresa implicata nel progetto di Dottorato (Innovations Srl):

- i) nella realizzazione di prototipi e test sperimentali;
- ii) nella co-progettazione dei sensori per applicazioni su porzioni murarie di interesse, relativamente a dei casi reali;

In particolare, affinché le metodologie e le tecnologie proposte possano trovare la giusta collocazione in quelle che sono le esigenze del mercato ed i contesti (di breve, medio e lungo termine), si rivelerà decisiva la sinergia tra le competenze scientifiche e le competenze tecniche acquisite dallo studente di Dottorato, che si prodigherà sotto la supervisione del tutor aziendale.