

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

Titolo del progetto: Nuova generazione di edifici in legno lamellare per un miglioramento della resilienza e sostenibilità delle comunità

La borsa sarà attivata sul seguente corso di dottorato accreditato per il XXXVII ciclo:  
INGEGNERIA STRUTTURALE E GEOTECNICA

Responsabile scientifico: Prof. Stefano Pampanin

Area per la quale si presenta la richiesta: GREEN

Numero di mensilità da svolgere in azienda: 6

Numero di mensilità da svolgere all'estero: 9 presso University of Canterbury, New Zealand

Azienda: X-Lam Dolomiti S.r.l., Trento

Il Dipartimento è disponibile a cofinanziare per un importo pari a euro: 10000,00

Dipartimento finanziatore: DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA STRUTTURALE E GEOTECNICA con delibera del 20/09/2021

Progetto di ricerca:

Introduzione

A seguito del riscaldamento globale e dei cambiamenti climatici, le catastrofi naturali si verificano sempre più di frequente in tutto il mondo. In uno scenario italiano, terremoti, alluvioni ed eruzioni vulcaniche rappresentano una continua minaccia alla stabilità sociale ed economica. L'impatto di terremoti medio-grandi e le iniziative a livello mondiale per edifici a bassa emissione di carbonio hanno evidenziato l'urgente bisogno di migliorare la resilienza della comunità e di riqualificare il patrimonio edilizio. Per rispettare lo European Green Deal, è richiesto un cambio di passo per una drastica riduzione delle emissioni di carbonio legate al settore terziario ed edilizio (attualmente pari al 40% delle emissioni totali). Anche il danneggiamento di edifici esistenti a seguito di terremoti ha impatti significativi sulla sostenibilità ambientale e sulla resilienza dell'intera comunità. D'altra parte, la crescente richiesta di materiali rinnovabili nel settore edilizio e la necessità di mitigare il rischio sismico hanno fortemente riacceso l'interesse per le costruzioni in legno in tutto il mondo. I loro vantaggi in termini di analisi del ciclo di vita completa - dal disboscamento fino al termine della vita utile, compresa la demolizione, il riutilizzo e/o il riciclo dei materiali ed il minimo spreco - vengono riconosciuti come caratteristiche chiave ed in grado di soddisfare gli obiettivi strategici di sostenibilità ed economia circolare (Buchanan 2007). È necessario un cambiamento paradigmatico nel settore delle costruzioni al fine di promuovere lo sviluppo della prossima generazione di sistemi edilizi ad elevate (multi)prestazioni per comunità più sostenibili e resilienti. Ne deriva un notevole potenziale per un più ampio e strategico utilizzo del legno ingegnerizzato per edifici multipiano.

Il presente progetto di ricerca di dottorato intende basarsi sui più recenti sviluppi internazionali su edifici in legno ad alte prestazioni, combinando efficienza energetica, flessibilità architettonica, estetica, prestazioni strutturali/sismiche e sostenibilità.

Verrà considerato un approccio progettuale "flessibile", utilizzando componenti modulari sostituibili e riposizionabili, al fine di facilitare la riorganizzazione degli spazi interni, della configurazione delle facciate esterne dell'edificio, consentendone molteplici cambiamenti della destinazione d'uso durante la vita utile (e.g., da residenziale a commerciale/uffici e viceversa). A sua volta, questo porterebbe ad un maggiore livello di sostenibilità attraverso la progettazione.

La partnership con l'Università di Canterbury in Nuova Zelanda, istituzione leader nell'ingegneria del legno (incluse

resistenza al fuoco e prestazioni sismiche), e con X-Lam Dolomiti, azienda leader nella produzione e fornitura di prodotti in legno ingegnerizzato per il settore delle costruzioni (sia per lo scheletro strutturale che per i sistemi di facciata) rappresenta una pietra miliare per il buon esito del progetto.

#### Motivazione della ricerca

Al fine di costruire un portafoglio di edifici sostenibili e soddisfare le crescenti aspettative della società riguardo le prestazioni sismiche, è necessario sviluppare un nuovo concetto di edificio ad alte prestazioni, basato su soluzioni tecnologiche avanzate e sostenibili. In questo contesto, l'attuale progettazione prestazionale dovrebbe focalizzarsi sullo sviluppo di un approccio integrato per le prestazioni dell'intero sistema edilizio (scheletro strutturale + elementi non-strutturali). Si richiede un cambiamento paradigmatico in termini di tecnologie avanzate e metodologie di progettazione per l'intero edificio per ottenere sistemi edilizi resilienti e sostenibili. Questo progetto di ricerca mira allo sviluppo di edifici ad alte prestazioni integrate, attraverso un impegno internazionale in collaborazione con partner accademici (Università di Canterbury) e industriali (XLam Dolomiti). Verrà dato un ruolo fondamentale all'utilizzo di soluzioni in legno ingegnerizzato per edifici multipiano, emergenti a livello internazionale, analizzando non solo i requisiti di normativa, ma anche le potenzialità delle pratiche costruttive correnti e le aspettative del mercato. Il progetto comprenderà studi analitici/numerici e/o sperimentali sui sistemi costruttivi in legno (o sotto-assemblaggi/componenti) per fornire evidenze a supporto di una più ampia adozione di soluzioni costruttive in legno sicure e sostenibili.

#### Stato dell'arte

I recenti eventi sismici (Canterbury 2010-2011 in Nuova Zelanda, L' Aquila 2009, Emilia 2012 e Centro Italia 2016) hanno evidenziato la grave discrepanza tra le aspettative della società e le reali prestazioni sismiche degli edifici moderni, dovuta all'attuale filosofia di progettazione sismica (Pampanin, 2015). D'altra parte, i cambiamenti climatici in corso impongono di ridurre drasticamente le emissioni di carbonio ed i consumi energetici. Le filosofie tradizionali di progettazione sismica promuovono la progettazione di sistemi strutturali duttili, con danno concentrato in specifiche zone ("cerniere plastiche"), per evitare il collasso degli edifici e consentire l'evacuazione degli occupanti (Park e Paulay, 1992). Tuttavia, come evidenziato in Nuova Zelanda, numerosi edifici moderni, sebbene abbiano effettivamente mostrato un comportamento duttile, sono stati tuttavia ritenuti troppo costosi per essere riparati e di conseguenza sono stati demoliti. Dunque, nelle aree sismiche gli investimenti "verdi" potrebbero essere compromessi dalla scarsa prestazione sismica degli edifici, portando alla perdita dell'investimento anche per eventi sismici di bassa intensità.

Pertanto, l'attuale richiesta per una società più sostenibile e più sicura è quella di un edificio "a prova di terremoto" ed ecosostenibile, a costi accessibili e costituito da materiali rinnovabili. In questa direzione, stanno riscuotendo particolare interesse i recenti sistemi a basso-danneggiamento sismico, noti come tecnologia PRESSS (PREcast Seismic Structural System) per il calcestruzzo (Priestley et al., 1999,) e Pres-Lam (Prestressed Laminated) per il legno (Palermo et al., 2005;). In particolare, lo sviluppo della tecnologia Pres-Lam ha aperto nuove opportunità per un uso più ampio del legno e dei prodotti in legno ingegnerizzato (Glulam, Cross-Lam o Laminated Veneer Lumber, LVL) in edifici multipiano e di grandi dimensioni. Questa tecnologia risponde alla rinnovata sensibilità e impegno nazionale e internazionale verso l'ampio concetto di sostenibilità, utilizzando tecnologie innovative per realizzare edifici di alta qualità, con ampi spazi aperti ed eccellenti ambienti di vita e di lavoro, e garantire un'elevata prestazione nei confronti di eventi come terremoti, incendi ed eventi climatici estremi.

#### Obiettivi

Gli obiettivi principali del presente progetto di ricerca sono:

Obiettivo 1- Studio di involucri edilizi avanzati (facciate, pareti divisorie, soffitti, vetrate, ecc.) attraverso un approccio multi-prestazionale (efficienza energetica, LCA, azione sismica, azione del vento).

Raccolta e confronto delle tecnologie disponibili e più recenti per elementi non-strutturali (a base di legno o altri materiali) compatibili la tecnologia proposta per lo scheletro strutturale e con l'intero sistema edilizio.

Obiettivo 2 - Sviluppo concettuale e perfezionamento di sistemi strutturali innovativi a basso danneggiamento per edifici in legno post-tesi, multipiano e open-space.

Attenzione a soluzioni in legno ingegnerizzato disponibili in ambito italiano/europeo, ad es. CLT, Glulam (lamellare).

Grazie al coinvolgimento di XLam un partner industriale leader nel settore delle costruzioni in legno (XLam Dolomiti), sarà possibile condividere il know-how tecnico per portare a termine questo obiettivo.

Obiettivo 3 - Sviluppo di linee guida preliminari per la progettazione e realizzazione di sistemi ad alte prestazioni, basate su un approccio prestazionale integrato di sistemi edilizi in legno in grado di coniugare sostenibilità e sicurezza sismica.

Definizione dei parametri chiave, indicatori di prestazione, dipendenti dall'obiettivo generale del progetto. Proposta concettuale di un approccio di analisi costi-benefici ad-hoc per facilitare la selezione di edifici più sicuri e sostenibili a scala individuale, urbana e/o regionale.

Metodologia

Il progetto di ricerca si baserà su studi analitici, numerici e/o sperimentali sulle soluzioni innovative proposte. I tre sopracitati Obiettivi saranno raggiunti in quattro Fasi (sfalsate).

Fase I – Revisione della letteratura

Task Ia) Stato dell'arte su soluzioni tecniche alternative e progettazione multi-prestazionale per sistemi edilizi (Obiettivo 1)

Task Ib) Studio di fattibilità su soluzioni tecniche alternative per componenti strutturali e non-strutturali (Obiettivo 2)

Task Ic) Identificazione delle lacune e delle modifiche necessarie alle procedure di progettazione sismico-strutturale per adattarsi all'ambiente italiano ed europeo (Obiettivo 3)

Fase II – Indagini Numeriche

Task IIa) Analisi numeriche (FEM) su connessioni alternative per lo scheletro strutturale in legno (Obiettivi 1)

Task IIb) Analisi numeriche (FEM) sulla risposta sismica di sistemi strutturali ed elementi non-strutturali (Obiettivo 2)

Task IIc) Studio parametrico sull'efficienza energetica e analisi del ciclo di vita di soluzioni Scheletro+Inviluppo (Obiettivo 1)

Fase III – Test sperimentale su un prototipo di sotto-assemblaggio ecosostenibile ed a basso danneggiamento

Task IIIb) Prove sperimentali in regime quasi-statico di un sotto-assemblaggio con connessione ibrida in legno (Obiettivi 2)

Task IIIc) Confronto analitico-numerico-sperimentale e perfezionamenti della procedura di progettazione strutturale (Obiettivi 2 e 3)

Fase IV – Preparazione di un quadro metodologico integrato multi-prestazionale

Verrà organizzato un periodo di studio all'estero presso l'Università di Canterbury, in Nuova Zelanda per approfondire gli aspetti legati alle varie prestazioni.

Titolo del progetto (inglese): Next Generation of multi-storey laminated timber building for enhanced community resilience and sustainability

Progetto di ricerca (inglese):

..Introduction

As a result of global warming and climate change, natural disasters occur more frequently around the world. In the Italian territory, earthquakes, floods, and volcanic eruptions are a continuous threat to social and economic stability. Particularly, the negative impact of moderate-to-strong earthquakes and the worldwide initiatives towards lower embodied carbon buildings have further highlighted the urgent need to enhance community resilience and upgrade the national building stock. With the aim to finally fulfill the European Green Deal, a step change is demanded to drastically reduce carbon emissions in the tertiary and building sector currently accounting for approximately 40% of the total. Moreover, in seismic prone countries, the extensive and widespread damage to existing buildings has significant direct and indirect impacts to the sustainability of the surrounding environment as well as to resilience of the entire community. Therefore, the increasingly higher demand for renewable construction materials as well as the need to mitigate the seismic risk has strongly revamped the interest in timber construction worldwide. The benefits of timber construction from the point of view of a full life cycle analysis - from forest harvesting to end of life, including building demolition, reusability/recyclability and minimum waste - are being recognized as key features fulfilling the strategic

goals of sustainability and circular economy (Buchanan 2007, Buchanan et al. 2008).

A new paradigm change is required in the construction sector in order to promote the development of the next generation of high-(multi)-performance building systems for enhanced community resilience and sustainability. As part of such a strategic goal, there is a remarkable potential for a wider use of engineered timber for multi-storey buildings.

This doctoral research project intends to build on the most recent international developments for high-performance timber buildings, combining multiple aspects such as energy efficiency, architectural flexibility, aesthetics, structural/seismic performance and overall sustainability.

A flexible design approach, combining modular replaceable and relocatable components, will be considered to help the re-arrangement of internal spaces, layout and exterior facades of the building, allowing for several changes of use during its (potentially extended) lifetime (e.g. residential vs. commercial/offices/retails and viceversa). In turns this would lead to an enhanced level of sustainability by design.

The partnership with the University of Canterbury in New Zealand, leading institution in timber engineering, including fire and seismic aspects as well as with X-Lam Dolomiti, leading company in the manufacturing and supply of engineered wood products for the construction sector (for both the structural skeleton and the facade systems) represents a key milestone for the successful outcome of the project.

#### Research Motivation

A new concept of high-performance building, relying on advanced technological and sustainable solutions, is necessary to satisfy both the societal expectations of engineered seismic performance and to build up a sustainable building portfolio. Within this context, the current performance-based design should more explicitly focus on the development of an integrated approach to the performance of the whole building system, including the structural skeleton and non-structural elements. A paradigm shift in terms of advanced technologies and design methodologies for the overall building is required to define sustainable resilient systems. This research aims towards the development of high-performance integrated buildings within an international effort in collaboration with both academic (University of Canterbury) and industry (XLam Dolomiti) partners. Core role will be given to the use of internationally emerging engineered timber solutions for multistorey buildings, focusing on the needs of code design requirements, construction practices and market expectations. The project will comprise analytical/numerical and/or experimental investigations on timber building systems (or subassemblies/components) to provide supporting evidences for a wider up-taking of safer and sustainable timber building solutions.

#### Research Background

Recent lessons from earthquake events (in particular the Canterbury Earthquake Sequence 2010- 2011 in New Zealand, but also the L'Aquila, 2009, Emilia 2012 and Central Italy 2016 earthquakes) have provided a tough reality check of current seismic design philosophy, highlighting the severe mismatch between societal expectations over the reality of seismic performance of modern buildings (Pampanin, 2015). On the other hand, the climate change the world is facing to nowadays, imposes the society to drastically reduce carbon emission and energy consumptions. Traditional seismic design philosophies promotes the design of ductile structural systems, where the damage should concentrate within discrete 'plastic hinge' regions, typically located in the beams, allowing the buildings to sway and stand and people to evacuate (Park and Paulay, 1992). Nevertheless, as it occurred in New Zealand, many modern buildings performed as expected (when considering the high level of shaking they were subjected to) but were deemed too expensive to be repaired and were consequently demolished. In the light of that, in seismic prone areas green investments might be suppressed by the poor seismic behavior of buildings bringing to the loss of the investment even for low-intensity earthquake levels.

Therefore, the current demand for a more sustainable and safer society is an 'earthquake-proof' and eco-friendly building at affordable costs using renewable materials as timber. Particular interest is being received by alternative

and more recently developed low-damage systems, based on post-tensioned rocking and dissipative mechanisms also referred to PRESS technology (PREcast Seismic Structural System) for concrete (Priestley et al., 1999, Pampanin, 2010) and Pres-Lam (Prestressed Laminated) for timber (Palermo et al., 2005; Pampanin et al., 2013). In particular, the development of the Pres-Lam technology has opened new opportunities for much greater use of timber and engineered wood products (Glulam, Cross-Lam or Laminated Veneer Lumber, LVL) in multi-storey and large buildings. This addresses the national and international renewed sensitivity and commitments towards the broad concept of sustainability, whilst using innovative technologies for creating high quality buildings with large open spaces, excellent living and working environments, and resistance to hazards such as earthquakes, fires and extreme weather events.

## Research Objective

Main objectives of the research project are:

Objective 1: Investigation through a multi-performance (energy efficient, LCA, seismic, wind,) approach of advanced building envelopes including facades, partitions, ceiling, glazing etc.

Collection and comparison, through a multi-criteria performance-based approach, of currently available and more recently developed technologies for non-structural (either timber or non-timber based) elements compatible with the proposed skeleton and overall building system use.

### Objective 2:

Conceptual Development and Refinement of innovative low-damage structural systems for multistorey and open-space post-tensioned timber buildings.

Emphasis will be given to the use of engineered wood solutions mostly available in the Italian/European system, e.g. CLT, Glulam. Thanks to the involvement of a specialized industry partner leader in the timber construction sector (XLam Dolomiti), suggestions and technical knowhow will be shared to accomplish this task.

### Objective 3:

Development of preliminary design guidelines for the design and construction of high-performance systems based on an integrated performance-based design framework of timber-based building systems capable of combining seismic sustainability and safety.

Definition of key parameters, performance indicators and weighting approach, depending on the overall design objective. Conceptual proposal of an ad-hoc cost-benefit analysis approach to facilitate the selection of safer and sustainable buildings at an individual, urban and/or regional scale.

## Methodology

The overall research project will rely upon desktop studies, analytical/numerical and/or experimental investigations on the proposed innovative solutions. The three aforementioned Objectives will be achieved following four Phases (staggered).

### Phase I – Literature Review and Gap Analysis

Task 1a) Literature Review on alternative technical solutions and multi-performance design for building systems (Objective 1)

Task 1b) Literature Review and Feasibility Study on alternative technical solutions for structural and non-structural components (Objective 2)

Task Ic) Identification of gaps and needed modifications to the Seismic-Structural Design Procedures to fit within the Italian and European environment (Objective 3)

#### Phase II – Numerical Investigation

Task IIa) Numerical (FEM) investigations on alternative connections for the timber structural skeleton (Objectives 1)

Task IIb) Numerical (FEM) investigations on seismic response of structural systems with and without non-structural elements (Objective 2)

Task IIc) Parametric study on energy efficiency and Life Cycle Analysis of Skeleton+Envelope solutions (Objective 1)

#### Phase III – Experimental testing of prototype low-damage eco-friendly sub-assembly

Task IIIb) Experimental testing under quasi-static regime of a hybrid timber subassembly (Objectives 2)

Task IIIc) Analytical-numerical-experimental comparison and refinements of structural design procedure (Objectives 2 and 3)

#### Phase IV –Preparation of Integrated Multi Performance-based Framework

A period abroad at University of Canterbury (NZ) will be organized to study and investigate all these performances.