

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

Titolo del progetto: NextGen\_EcoSeismicShield: Progettazione multi-criterio prestazionale di sistemi di facciata e soluzioni esoscheletro per una riqualificazione integrata sismico&energetica di edifici

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 TU Delft, Netherlands

Azienda: Permasteelisa Group, Vittorio Veneto, Treviso

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:

Stato dell'arte ed obiettivi strategici

L'urgenza di un piano coordinato per una riqualificazione Energetica e Strutturale/Sismica "integrata" del patrimonio edilizio è finalmente riconosciuta come una priorità sociopolitica a livello nazionale ed internazionale (e.g. PNIEC 2020). L' European Green Deal Action Plan, che mira alla riqualificazione energetica degli edifici, e il nuovo European Green Deal Action Plan, che coinvolge due specifici gruppi verso società più resilienti alle catastrofi (e.g., clima, energy e Mobilità) (Gabriel 2020), testimoniano l'impegno per raggiungere questi obiettivi.

Negli ultimi anni, gli incentivi "green" per il miglioramento dell'efficienza energetica degli edifici hanno stimolato crescente interesse e nuovi investimenti, incoraggiando la riqualificazione dell'involucro edilizio e l'uso di energie rinnovabili e materiali eco-sostenibili. Tuttavia, nelle zone ad elevato rischio sismico, il solo miglioramento energetico può risultare un intervento non sicuro. Infatti, gli edifici esistenti possono essere vulnerabili alle azioni sismiche, dal momento che la maggior parte sono stati progettati secondo vecchie normative che non prevedevano l'uso di adeguati dettagli costruttivi per le azioni sismiche.

In più, l'involucro edilizio potrebbe perdere funzionalità anche per terremoti di bassa intensità e risultare severamente danneggiato o collassare a seguito di terremoti di media-elevata intensità, comportando un potenziale pericolo per la salvaguardia della vita degli occupanti e dei pedoni, nonché sostanziali perdite socioeconomiche. Dunque, la necessità di ridurre l'impatto associato al rischio sismico necessita lo sviluppo di interventi di riqualificazione integrata sismo-energetica, assicurando accettabili livelli di sicurezza e di funzionalità/operatività per l'intero sistema edilizio. Inoltre, come evidenziato dai recenti eventi sismici catastrofici, l'impatto socioeconomico ha portato ad un maggiore livello di consapevolezza del rischio sismico della comunità, che ora richiede un più alto livello di protezione sismica per gli edifici.

I recenti incentivi fiscali introdotti dalle normative Italiane per il miglioramento della prestazione energetica (Eco-Bonus, Super-Bonus 110%) e/o della sicurezza/prestazione sismica (Sisma-Bonus) degli edifici privati, rappresentano un'opportunità per avviare un programma di riqualificazione senza precedenti, fornendo un investimento a lungo termine per l'intero paese e per la comunità. Tuttavia, le complessità tecniche e l'invasività associate a un progetto di adeguamento strutturale/sismico al momento spesso ostacolano/scoraggiano l'implementazione di un intervento integrato di riqualificazione sismico-energetica. Così i proprietari tendono ad optare per la sola riqualificazione

energetica, considerata "più leggera" e più semplice, compromettendo così gli enormi potenziali benefici socio-economici legati ad una riduzione del rischio sismico a livello nazionale, e non fornendo un'adeguata protezione (sismica) all'investimento per la riqualificazione energetica.

In linea con gli obiettivi strategici Europei, il progetto di ricerca di dottorato "NextGen\_EcoSeismicShield" intende colmare questa lacuna tecnico-conoscitiva e fornire un importante supporto scientifico per l'implementazione di una riqualificazione energetica-sismica integrata del patrimonio edilizio, sviluppando: a) metodologie prestazionali di valutazione/progettazione/riabilitazione ad hoc, in accordo con un approccio multi-decisionale e b) soluzioni tecnologiche pratiche, economiche e poco invasive per interventi integrati di riqualificazione energetica e miglioramento sismico per edifici esistenti. L'attenzione sarà data, ma non limitata, allo sviluppo di soluzioni sismo-energetiche economicamente efficienti e poco invasive (i.e., esoscheletro) per gli edifici esistenti.

La ricerca condotta dal/la candidato/a comprenderà indagini numeriche (FEM), analitiche, teoriche e sperimentali, facendo leva sul coinvolgimento di aziende di fama internazionale nel campo dell'ingegneria delle facciate (come il Gruppo Parmasteelisa) e di prestigiose Università nel campo dell'approccio prestazionale dei sistemi edilizi (come l'Università di Delft).

Più precisamente, le indagini numeriche e/o sperimentali saranno condotte sia a livello locale (elementi non strutturali o elementi strutturali, dettagli delle connessioni) che globale (sistema a telaio, edificio prototipo). I risultati e i prodotti finali primari assumeranno la forma di un linee guida pratiche e orientate all'utente finale e ad un manuale tecnico, inclusivo di esempi di progettazione, dettagli strutturali/costruttivi per assistere i vari decisori e portatori di interesse.

#### Obiettivi e Metodologia

Il progetto di dottorato intende realizzare, e fare affidamento su, una collaborazione sinergica tra una rete interdisciplinare di ricercatori accademici e industriali, e i portatori di interessi.

L'impatto a breve e medio-lungo termine delle soluzioni riabilitative integrate proposte di "Transizione Ecologica" sarà analizzato integrando la valutazione del rischio sismico (prestazioni/perdite) all'interno di un approccio progettuale multicriterio tipicamente sviluppato nella progettazione delle facciate/Architettura, che combina prestazioni/valori funzionali (termici, acustici, meccanici e di durabilità), ambientali (ciclo di vita, contenuto di materiale riciclato, riciclabile e riutilizzato) e finanziari (costo dell'intera vita). Questo obiettivo sarà raggiunto facendo uso di software/strumenti digitali specifici che permettano una coordinazione ed integrazione delle analisi multi-prestazionali.

Il progetto di ricerca intende sviluppare un quadro multi-prestazionale più olistico e completo. Oltre alle innovative soluzioni tecnologiche "green", saranno implementati metodi innovativi di analisi/modellazione/simulazione, basati su approcci deterministici e probabilistici, e saranno sviluppati strumenti di progettazione alternativi basati su un approccio prestazionale e multicriterio, per l'uso quotidiano da parte dei professionisti e di altre parti interessate.

Gli obiettivi chiave saranno:

Obiettivo 1: Valutazione prestazionale e multicriterio di edifici esistenti in Calcestruzzo Armato. Miglioramento delle procedure attuali e sviluppo di procedure di valutazione semplificate.

Obiettivo 2: Sviluppo, indagine e validazione di opzioni per riabilitazioni integrate (energetica, strutturale e sismica), combinando esoscheletri a basso danneggiamento e involucri ad alte prestazioni.

Obiettivo 3: Sviluppo di un approccio costi-benefici multicriterio e di un approccio progettuale probabilistico multi-prestazionale (sicurezza sismica, efficienza energetica, ecc.), per supportare la scelta di strategie e tecniche alternative di riabilitazione.

Gli obiettivi (O) saranno raggiunti attraverso le seguenti Task:

Task.1 REVISIONE DELLA LETTERATURA

T1.1 Evoluzione delle tipologie di edifici in CA, sistema strutturale, configurazione architettonica, consumo energetico e HVCA, criteri e caratteristiche delle diagnosi energetiche, evoluzione dell'approccio costruttivo/progettuale.

T1.2 Metodi di valutazione dell'efficienza energetica/sostenibilità e soluzioni tecnologiche per migliorare la prestazione/efficienza energetica ed il confort degli ambienti abitabili degli edifici.

T1.3 Metodi di valutazione della vulnerabilità e rischio sismico, strategie e soluzioni di riabilitazione per migliorare le prestazioni sismiche e perdite attese dell'edificio nella sua interezza.

Task 2. SCELTA E VALUTAZIONE di edifici casi studio – Efficienza energetica, Indice di sicurezza, classificazione sismica e valutazione delle perdite (16 mesi).

T2.1 Selezione di edifici caso studio rappresentativi degli aspetti e delle caratteristiche degli archetipi, con adeguata distribuzione sul territorio italiano (aree sismiche e regioni climatiche).

T2.2 Modellazione analitica e numerica (FEM) per indagare le prestazioni statiche e sismiche di connessioni (scheletro + elementi non strutturali).

T2.3 Modellazione delle perdite e confronto con danneggiamento e costi di riparazione reali. Uso della metodologia delle FEMA P-58 (2012) per la definizione delle perdite socioeconomiche dirette e indirette.

T2.4 Simulazioni sull'edificio caso studio. Prestazioni energetiche e comfort termico interno mediante analisi FEM dinamiche (EnergyPlus, Therm).

Task 3. STRATEGIE DI RETROFIT su edifici casi studio italiani – Studio del miglioramento delle prestazioni sismiche e della riduzione delle perdite. (18 mesi - O3, O4).

T3.1 Progettazione di strategie e soluzioni di retrofit, considerando sia sistemi tradizionali alternativi (solo energetico o sismico) sia soluzioni integrate Sismico+Energetico, secondo criteri/obiettivi differenti.

T3.2 Confronto costi-benefici multicriterio delle tecniche di retrofit valutando le prestazioni strutturali e sismiche, l'efficienza energetica, e l'analisi delle perdite (FEMA P-58, 2012).

T3.3 Progettazione concettuale delle soluzioni innovative di retrofit (esoscheletro) e confronto delle opzioni attraverso gli approcci decisionali multicriterio proposti.

Task 4. PROVE SPERIMENTALI delle tecniche di riabilitazione strutturale/energetica innovative su edifici prototipo. (18 mesi - O3)

T4.1 Sotto assemblaggio dell'esoscheletro a larga scala: Prova quasi statica ciclica su un nodo trave-colonna in legno (modello scalato all'80%) con dettagli a basso danneggiamento (connessione post-tesa) e/o:

T4.2 Sistema di involucro a piccola scala: prove sismiche quasi statiche su vari sistemi di facciata, combinate con, pre e post terremoto. Verranno inoltre effettuate prove di valutazione della capacità termica (trasmissione di componenti multistrato).

T4.3 Confronto analitico/numerico-sperimentale e perfezionamento della procedura di progettazione e dei dettagli

costruttivi per migliorare le prestazioni complessive, la riparabilità e ridurre le perdite socioeconomiche del sistema edilizio nel suo complesso.

Titolo del progetto (inglese): NextGen\_EcoSeismicShield: Multi-Criteria Performance-Based Design of Tailored Building System Envelope and Exoskeleton Solutions for the Integrated Seismic & Energy Rehabilitation of Buildings

Progetto di ricerca (inglese):

Background and strategic goals

The urgency of a comprehensive and coordinated Plan for an 'Integrated' - Energy Efficiency and Structural&Seismic Rehabilitation of the existing building stock is eventually being recognized as a socio-political priority at national and international level (e.g. PNIEC 2020). The European Green Deal Action Plan, explicitly targeting building energy efficiency, and the new Horizon Europe Program, committing two specific Clusters towards disaster-resilient societies, e.g. Climate, Energy and Mobility (Gabriel 2020), are strong evidences of tangible commitments towards these goals. In recent years, "green incentives" for the improvement of the energy efficiency of the built environment, encouraging the upgrade of the building envelopes and the use of renewable energy sources and eco-friendly materials, have been attracting increasing interest and investments. However, in seismic hazard zones, the sole energy upgrade can lead to an unsafe intervention. Existing older buildings can be inherently vulnerable to seismic actions, considering that most of the structures and infrastructures are designed based on pre-modern seismic codes not accounting for appropriate seismic detailing.

Moreover, the building envelope can lose functionality even for low-intensity earthquakes and be severely damaged or reach collapse after moderate-to-high intensity earthquakes, leading to potential life-safety threat for building occupants and pedestrians as well as to socio-economic losses and market disruption. Therefore, the potential of negative impacts due to the seismic risk should be reduced by the development of integrated seismic-energy refurbishment/retrofit interventions, ensuring acceptable levels of safety as well as of serviceability/functionality for the overall building system. Moreover, as further highlighted by recent seismic disasters, the severe socio-economic post-earthquake impacts have led to an increased seismic-risk awareness among the community, that is now demanding higher levels of earthquake protection for the buildings.

More specifically, the recent Italian regulations providing financial incentives for the improvement of the energy-performance (Eco-Bonus, Super-Bonus 110%) and/or of the seismic safety/performance (Sisma-Bonus) of private buildings, represent an opportunity to initiate an unprecedented rehabilitation programme, providing a long-term investment for the entire country and community. Yet, the technical complexity and invasiveness associated with a structural/seismic retrofitting scheme currently hinder and discourage the implementation of an integrated seismic-energy efficiency intervention, with the householders tending to opt for the 'lighter' and simpler eco-only scheme, thus impairing the potentially huge socio-economic community benefits associated with the reduction of the seismic risk at a national level, and yet not providing adequate (seismic) protection to the energy-efficiency investment.

Aligning with the European strategic goal, this doctoral research project "NextGen\_EcoSeismicShield" intends to address this technical-knowledge gap and provide a fundamental scientific support to the practical implementation of an integrated energy/seismic efficiency rehabilitation of the building stock, by developing: a) ad-hoc performance based assessment/design/retrofit methodologies according to a multiple criteria and objectives approach and b) practical, cost-efficient and low-invasive technological solutions for integrated energy efficiency and seismic rehabilitation interventions on existing buildings. Focus will be given, yet not being limited, to the development of tailored seismic-energy cost-efficient and low-invasive (exoskeleton-type) solutions for existing buildings.

The research carried out by the Doctoral candidate will develop numerical (FEM-based) analytical/theoretical and experimental investigation, leveraging on the involvement of international renowned companies in the field of Facade Engineering (as the Parmasteelisa Group) and universities in the field of building system performance approach (as the University of Delft).

More specifically numerical and experimental investigations will be carried out at both local (non-structural or structural

elements, connection details) and/or global level (frame system, building prototype). The final outputs and key deliverables will take the form of a contribution to a practical and end-user oriented Guidelines and a Technical Handbook, including design examples, structural/construction details to assist the various decision makers and stakeholders/shareholders.

## 2) Objectives and Methodology

The doctoral project intends to build and rely upon a synergetic collaboration amongst an interdisciplinary network of academic and industry researchers and stakeholders. The short and medium-long term impact of the proposed "Green Transition" integrated rehabilitation solutions will be analyzed by integrating the seismic-risk evaluation (performance/losses) within the multi-criteria building design approach typically developed in Facade Design/Architecture, which combines functional (thermal, acoustic, mechanical and durability), environmental (lifecycle, content of recycled, recyclable, and reused material) and financial (whole-life cost) performance/values. This goal will be achieved by the adoption of specific digital software/tools allowing a coordination and integration of multi-performance analyses.

The research project intends to build a more holistic and comprehensive multi-performance framework. In addition to the innovative green technological solutions, innovative analysis/modeling/simulation methods will be implemented, either based on deterministic and probabilistic approaches, and alternative multi-criteria performance-based design tools, for the daily use of practicing engineers and other stakeholders, will be developed.

Key Objectives will be:

Objective 1: Multi-criteria/performance assessment evaluation of typical RC existing buildings. Refinement of current procedures and development of simplified assessment procedures.

Objective 2: Development, investigation and validation of alternative options for innovative integrated (energy efficient, structural, seismic) rehabilitation/retrofit solutions, combining low-damage structural skeletons and high-performance envelopes.

Objective 3: Development of a multi-criteria cost-benefit approach as well as of a novel probabilistic multi-performance-based design framework, including seismic safety, energy efficiency, etc., to support the selection of alternative rehabilitation/retrofit strategies and techniques.

It is envisaged that the project Objectives (O) will be achieved through the following Key Tasks:

### Task 1. LITERATURE REVIEW. (9 months)

T1.1 Evolution of reinforced concrete building typologies, considering functionality, structural systems, architectural configurations, energy consumption and HVAC, building energy audits criteria and features, evolution of construction/design approach.

T1.2 Energy efficiency/sustainability assessment methodologies and design/technical solutions to improve the energy performance/efficiency and interior living comfort of buildings.

T1.3 Seismic vulnerability and risk assessment methodologies, rehabilitation strategies and solutions to improve the seismic performance and expected losses of the building system as a whole.

### Task 2. SELECTION AND ASSESSMENT of Case Study Buildings - Energy Efficiency, Safety Index, Seismic Rating and Loss-Evaluation. (16 months)

T2.1 Selection of Case Study Buildings, representative of key archetypes aspects and features, with adequate distribution across the Italian territory (seismic areas and climate regions).

T2.2 Analytical and Numerical (FEM) modeling investigations on the static and seismic performance of 3D Building connections/systems (skeleton + non-structural elements).

T2.3 Loss modelling and comparison with actual damage and repairing costs. Use of Probabilistic-Based methodology included in FEMA P-58 (2012) for the definition of direct and indirect socio-economic losses.

T2.4 Simulations of the selected case study Buildings Energy behavior/performance and Internal thermal comfort using dynamic analyses and FEM modelling (EnergyPlus, Therm).

### Task 3. RETROFIT STRATEGIES of Italian Case Study Buildings - Comparison of Improved Seismic Performance,

Rating and Loss Reduction. (18 months - O3, O4)

T3.1 Design of the retrofit strategies and solutions, considering both alternative traditional systems (Energy-only, Seismic-only) and the proposed innovative integrated Seismic+Energy solutions, according to different criteria and objectives.

T3.2 Multi-criteria cost-benefit comparison of the alternative retrofit techniques. Use of structural and seismic performance assessment, energy efficiency evaluation, loss analysis approaches (FEMA P-58, 2012).

T3.3 Conceptual design of the innovative retrofit solutions (exoskeleton) and comparison of alternative options through the proposed Multi-criteria decision making approaches.

Task 4. EXPERIMENTAL TESTING of structural/energy innovative rehabilitation techniques on prototype building models. (18 months - O3)

T4.1 Large-scale exoskeleton sub-assembly: quasi-static cyclic seismic testing on a timber beam-column sub-assembly (80% scaled models) comprising low-damage (post-tensioned rocking-dissipative) detailing and/or:

T4.2 Small-scale envelope system: quasi static seismic testing on various facade systems, combined with, pre- and post-earthquake. Moreover, testing evaluation of the thermal capacity (transmittance of multi-layer components) will be carried out.

T4.3 Analytical/Numerical-experimental comparison and refinements of structural design procedure and detailing to improve the overall performance, the reparability and reduce the socio-economic losses of the building system as a whole.