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

Titolo del progetto: Simulation and modelling, computational urban dashboard, machine city learning and artificial intelligence per la sostenibilità ambientale e la mitigazione climatica nell'architettura e nella città "green"

La borsa sarà attivata sul seguente corso di dottorato accreditato per il XXXVII ciclo:
PIANIFICAZIONE, DESIGN E TECNOLOGIA DELL'ARCHITETTURA

Responsabile scientifico: Prof. Fabrizio Tucci
Area per la quale si presenta la richiesta: GREEN
Numero di mensilità da svolgere in azienda: 6
Numero di mensilità da svolgere all'estero: 6 presso Ecole Nationale Supérieure d'Architecture de Grenoble
Azienda: DG TWIN S.R.L.
Il Dipartimento è disponibile a cofinanziare per un importo pari a euro: 10.000 euro
Dipartimento finanziatore: DIPARTIMENTO DI PIANIFICAZIONE, DESIGN, TECNOLOGIA DELL'ARCHITETTURA con delibera del 21/09/2021

Progetto di ricerca:
Il presente progetto di ricerca è associato al Curriculum "Progettazione Tecnologica Ambientale"

Obiettivi e inquadramento della proposta di ricerca
La ricerca avrà come oggetto lo studio di paradigmi innovativi "green" per la simulazione e la ottimizzazione di progetto per l'architettura, il distretto urbano e la città nella tensione verso il raggiungimento di obiettivi di mitigazione climatica e riduzione degli impatti da cambiamenti climatici.
Da un lato, gli strumenti computazionali di indagine energetica, ambientale, termo-fluidodinamica e di interazione tra il costruito e le attività umane (come, ad es., i simulatori di traffico veicolare e pedonale) costituiranno l'asse portante del nuovo paradigma, dall'altro lato le più recenti tecniche di machine learning, active learning, metodologie di apprendimento automatico multi-fedeltà e multi-sorgente e intelligenza artificiale, forniranno le tecnologie abilitanti per un approccio integrato di indagine e ottimizzazione in grado di coniugare le capacità esplorative e conoscitive proprie dell'efficienza computazionale col progetto di soluzioni innovative finalizzate alla mitigazione climatica nelle città.
Tali approcci sono in grado di fondere informazioni provenienti da solutori/simulazioni a fedeltà più bassa con informazioni provenienti da simulazioni ad alta fedeltà, bilanciando il costo computazionale con l'accuratezza della soluzione finale. Queste metodologie rappresentano oggi una importante frontiera di ricerca per le scienze computazionali applicate al mondo dell'architettura e della progettazione tecnologica ambientale, avendo già dimostrato le loro grandi potenzialità nell'applicazione in campi disciplinari quali l'ingegneria industriale, strutturale e dei trasporti. In effetti il tema di ricerca, coniugando metodologie innovative di machine learning e intelligenza artificiale con quelle volte alla sostenibilità ambientale e alla mitigazione climatica nell'architettura e nella città, può rappresentare un terreno fertile per una reale, forte collaborazione e integrazione di competenze interdisciplinari, che certamente verrà incoraggiata.

Stato dell'arte
Nell'ultimo decennio gli strumenti e le tecnologie innovative hanno fornito un forte contributo positivo all'architettura delle città e dei distretti urbani "green" al fine di migliorare l'utilizzo e il consumo delle risorse.
L'evoluzione tecnologica ha segnato il passaggio dalla prima fase del disegno 2d alla modellazione 3d e al BIM, per

arrivare ai progetti su base algoritmica e, infine, a quella odierna basata sul Machine Learning (ML) e sull'Intelligenza Artificiale (AI). Oggi sono molti gli strumenti utilizzati nel progetto architettonico che vanno dalle misure e tecnologie AI e ML, ai Google Maps per la localizzazione geografica, ai Lunchbox, Unity 3D, Opossum e Project Dreacatcher di Autodesk per le valutazioni funzionali, le analisi di flusso e di realizzazione di un manufatto edilizio. L'apprendimento automatico (ML) è una forma di intelligenza artificiale che utilizza un set di dati al fine di ottenere previsioni con una ridotta percentuale di errore; diversi modelli matematici come le reti neurali artificiali (ANNs), i Support Vector Machines (SVMs), le reti bayesiane, i Radial Basis Function networks (RBFs), sono utilizzati per le analisi più disparate.
La modellazione e la simulazione risulta così parte integrante di un progetto di architettura, in quanto consente di progettare gli interventi visionando anzitempo eventuali conflitti tra componenti, fasi operative e di costruzione, nonché viste accurate renderizzate prima che il manufatto venga realizzato. Tali processi richiedono generalmente molto tempo a causa delle geometrie complesse, importante quindi è la creazione di modelli low poly per abbattere tempi e dimensioni con simulazioni più veloci.

Ambiti tematici
Diventa cruciale la necessità di intervenire sugli aspetti di connessione, sul comportamento bioclimatico ed energetico degli aggregati edilizi, attraverso specifiche modellazioni e simulazioni energetiche, capaci al tempo stesso di adattarsi ai sempre più frequenti effetti climatici. Controllare e monitorare le città, i distretti e i quartieri dal punto di vista energetico, significa ideare una energy grid dove ogni edificio scambia dati e informazioni circa la richiesta energetica, l'immissione nella rete di surplus energetico derivato da impianti di produzione energetica rinnovabile o la segnalazione di un guasto nella rete o in una sua componente.
In generale le grid necessitano di una Smart City Control Room, o Computational Urban Dashboard, cioè un'area di raccolta delle informazioni dove censire e analizzare tutti i dati condivisi (secondo il processo, KPI Key Performance Indicator). Nei distretti urbani vengono introdotti panel dove vengono riportati in tempo reale tutte le informazioni utili organizzate con sistemi di alert in caso di criticità riguardanti i settori di interesse (mobilità, energia, attività sociali, ambiente, meteo, trasporto pubblico, acqua, ICT, protezione civile e triage ospedaliero).
Le città più avanzate sono quelle più performanti e in molti casi a energia positiva, hanno una grid network di dati in tempo reale; tali dati vengono analizzati per fornire ai cittadini e gli amministratori indicazioni necessarie per la gestione ottimale dei servizi secondo la concezione del Computational Urban Dashboard.
Sfruttare al meglio le potenzialità delle tecnologie più innovative significa anche riuscire a mitigare i cambiamenti climatici. Prospettive di risparmio energetico nelle città e nei distretti urbani possono aversi sempre attraverso l'Intelligenza Artificiale applicata a sensori e dispositivi connessi con Internet of Things (IoT), supportati con tecnologia 5G, con soluzioni efficaci di contrasto ai cambiamenti climatici. L'intelligenza artificiale (AI) e il Machine learning (ML) possono rivelarsi alleati fondamentali per il monitoraggio ai fini di rallentare il trend negativo di emissioni di Co2 derivate dal settore edilizio.
Integrando sistemi di Computational Dashbord, come ad esempio l'acquisizione di immagini satellitari nelle fasi di pianificazione o di monitoraggio alla scala urbana del grado di inquinamento provocato dai combustibili fossili dei distretti urbani, dei siti industriali o dello stato di deforestazione delle masse arboree possono aversi informazioni decisive per salvaguardare la salute dei cittadini. Così come il Machine Learning, l'Intelligenza Artificiale di un sistema di Smart City Control Room, o Computational Urban Dashboard possono concorrere, ad esempio, alla ricerca di strategie e tecnologie di controllo adattivo degli edifici, degli involucri, la creazione di materiali innovativi, a basso contenuto di carbonio, più efficienti, con autonomia energetica e possibilità di cessione del surplus prodotto nella città.

La diffusione di nuove tecnologie digitali avanzate per il Simulation and Modelling consente una preventiva analisi al fine di verificare le strategie e le soluzioni alle criticità emerse negli scenari ipotizzati, con l'obiettivo di incrementare la resilienza climatico-ambientale attraverso processi di adattamento all'interno dei tessuti urbani più a rischio.

Fasi di sviluppo della ricerca

Lo sviluppo della ricerca prevede una struttura in tre fasi, inquadrate secondo un modello operativo generale caratterizzato da un ordine progressivo di approfondimento, connessioni tematiche e riferimenti progettuali.
La prima fase riguarda un'attività di studio volta a selezionare, analizzare e catalogare con metodologia parametrica ed euristica pubblicazioni e documenti scientifici, relativi agli ambiti tematici da sviluppare.
Una seconda fase di ricerca prevede l'esame di progetti nazionali e internazionali di interventi su distretti urbani che hanno impiegato gli strumenti sopracitati per ridurre le emissioni di carbonio in atmosfera. Lo studio punterà a individuaresperimentazioni su città e distretti urbani tese a contrastare i cambiamenti climatici, che utilizzino, ad es., metodologie GIS, Intelligenza Artificiale applicata a sensori e dispositivi connessi all'Internet of Things (IoT), supportati con tecnologia 5G, soluzioni strategiche di smart grid, ecc.
La terza fase di ricerca prevede un primo momento di sistematizzazione a fattor comune dei risultati ottenuti, al fine di introdurre nuovi possibili indici di performance secondo le tecnologie innovative sopracitate testandone le funzionalità in un caso pilota. Successivamente la fase viene completata attraverso un processo di disseminazione dei risultati ottenuti mediante la pubblicazione di articoli scientifici, seminari e convegni, workshop e laboratori tematico-sperimentali extra-curriculari, coinvolgendo stakeholder esterni, e ricevendo feedback dalla comunità civile.

Risultati attesi
Il percorso di ricerca mira a definire un quadro di azioni, strategie e soluzioni integrate, con alti livelli di tecnologie, al fine di fornire ai decisori politici delle città un solido strumento volto ad attuare, validare e monitorare, mediante informazioni in tempo reale fornite da sistemi ad Intelligenza Artificiale (AI) e dal Machine Learning (ML) ogni tipo di informazione volta a ridurre i consumi energetici, migliorare l'efficienza del patrimonio edilizio, ridurre le emissioni di Co2 in funzione della neutralità carbonica al 2050, condividendole con i diversi attori coinvolti. La sistematizzazione delle best practice più innovative offriranno un repertorio metodologico-strumentale basato sui dati anche per i servizi infrastrutturali, i flussi della mobilità, le tecnologie edilizie e l'impatto ambientale che le attività umane generano. Tale approccio sperimentale apre numerose strade nella comprensione delle ragioni alla base di determinati fenomeni climatici, aiutando, nel tempo, piccole e grandi comunità a prendere importanti decisioni nel campo della gestione del territorio.

Titolo del progetto (inglese): Simulation and modeling, computational urban dashboard, machine city learning and artificial intelligence for environmental sustainability and climate mitigation in architecture and green city

Progetto di ricerca (inglese):
This research project is associated with the Curriculum 'Environmental Technological Design'

Objectives and framework of the research proposal
The activities of the research doctorate will focus on the study of innovative paradigms for simulation and optimization of the project for architecture, the urban structure and the city. On one hand, the computational tools for energy, environmental, thermo-fluid dynamics and interaction between the built and human activities (such as, for example, vehicle and pedestrian traffic simulators) will constitute the mainstay of the new paradigm, from on the other hand, the most recent techniques of machine learning, active learning, multi-fidelity and multi-source machine learning methodologies and artificial intelligence, will provide the enabling technologies for an integrated approach to investigation and optimization capable of combining exploratory, cognitive and identification of innovative solutions with computational efficiency. This approaches are able to join information from lower fidelity solvers/simulations with information from high fidelity simulations. In this way, the computational cost is appropriately balanced with the accuracy of the final solution. These methodologies represent today a research frontier for computational sciences and have demonstrated their great potential in industrial, vehicle and structural engineering. The theme of the doctorate combines research on innovative methodologies of machine learning and artificial intelligence with specific research on environmental sustainability and climate mitigation in architecture and in the city. The proposed themes

represent a breeding ground for the collaboration and integration of the competences of the PDTA Department and the INM Institute of the CNR.

State of the art

Over the past decade, innovative tools and technologies have made a strong positive contribution to the architecture of cities and urban districts in order to improve the use and consumption of resources.
The technological evolution has marked the passage from the first phase of the drawing 2d to 3d modeling and BIM, to arrive at the projects on an algorithmic basis and, finally, the current one based on Machine Learning (ML) and Artificial Intelligence (AI). Today there are many tools used in the architectural project from measurements and technologies AI and ML, Google Maps for example for geographical location or Lunchbox, Unity 3D, Opossum and Project Dreacatcher Autodesk for functional evaluations, analysis of the flow and construction of a building construction. Machine learning (ML) is a form of artificial intelligence that uses a set of data in order to obtain predictions with a reduced percentage of error; more data are multiple and articulated, more accurate is the output. Several mathematical models such as neutral artificial networks (Anns), Support Vector Machines (Svms), Bayesian networks, Radial Basis Function networks (Rbfs), are used for the most disparate analysis.
The modeling and simulation is an integral part of an architectural project, as it project a city, an urban district or a building construction seeing in advance any conflicts between components, operational and construction phases, and accurate views rendered before the artifact itself is realized. This processes generally take a long time because of complex geometries, so it is important to create low poly models in order to reduce time and size with faster simulations.

Thematic areas

It becomes crucial the need to intervene on the aspects of connection, bioclimatic and energy behavior of building aggregates, through specific energy modeling and simulations, able at the same time to adapt to the increasingly frequent climate effects. Controlling and monitoring cities, districts and neighbourhoods from the energy point of view, means designing an energy grid where each building exchanges data and information about the energy demand, the entry into the energy surplus network from renewable energy production plants or the signalling of a fault in the network or in a specific component. In general, grids need a Smart City Control Room, or Computational Urban Dashboard, that is, an information collection area where they can survey and analyze all the shared data (according to the process, KPI Key Performance Indicator). In the urban districts panels are introduced where they come brought back in real time all the organized useful information with systems of alerts in case of criticalities regarding the fields of interest (mobility, energy, social activities, environment, weather, public transport, water, ICT, civil protection and hospital triage). The most advanced cities are the most performing and in many cases positive energy, have a grid network of data in real time; these data are analyzed to provide citizens and administrators with the information necessary for the optimal management of services, according to the Computational Urban Dashboard concept.
Making the most of the potential of the innovative technologies also means being able to mitigate climate change. Prospects of energy savings in cities and urban districts can always be achieved through Artificial Intelligence applied to sensors and devices connected with the Internet of Things (IoT), supported with 5G technology, with effective solutions to climate change. Artificial intelligence (AI) and Machine Learning (ML) can be fundamental allies for monitoring, in order to slow down the negative trend of CO_2 emissions from the construction sector. Integrating Computational Dashbord systems, such as the acquisition of satellite images in the planning or monitoring phases at the urban scale of the degree of pollution caused by fossil fuels in urban districts, industrial sites or the state of deforestation of the tree masses can have decisive information to protect the health of citizens.
The diffusion of new advanced digital technologies for Simulation and Modelling allows a preliminary analysis in order to verify the strategies and solutions to the critical issues emerged in the hypothesized scenarios, with the aim of increasing environmental resilience through adaptation processes within the urban structure at risk.

Research development phases

The research development phase provides a structure in three phases, framed according to a general operating model characterized by a progressive order of deepening, thematic connections and design references that can provide feedback to research.
The first phase concerns a detailed study activity aimed at selecting, analyzing and cataloguing with parametric and heuristic methodology scientific publications and documents, related to the thematic areas to be developed.
A second phase of research involves the examination of national and international projects of interventions on urban districts that have used the aforementioned tools to reduce carbon emissions into the atmosphere. The research will focus on large-scale interventions where strategies and methodologies have been adopted, such as GIS-based geometric mappings, to enable city administrators to make more energy efficient, the urban structure and to increase the quality of life in the city.
The study will also aim to identify experiments on cities and urban districts that use artificial intelligence applied to sensors and connected devices of the Internet of Things (Iot), supported with 5G technology, strategic solutions to create an intelligent grid that counteracts climate change.
The third phase of research provides for a first phase of systematization in common factor of the results obtained, in order to introduce new possible performance indices according to the innovative technologies mentioned above, testing their functionality in a pilot case.
Subsequently, the phase is completed through a process of dissemination of the results obtained through the publication of scientific articles, seminars and conferences that address the topics analyzed, proposing workshops and thematic experimental workshops, involving external stakeholders, thus allowing to disseminate the results of the research and receive feedback from the civil community.

Expected results

The research path aims to define a framework of actions, strategies and integrated solutions, with high levels of technologies, in order to provide policy makers in cities with a solid tool to implement, validate and monitor, through real-time information provided by Artificial Intelligence systems (AI) and Machine Learning (ML) to share, with the various actors involved, any type of information aimed at reducing energy consumption, improving the efficiency of the building stock, drastically reducing CO2 emissions as a function of carbon neutrality by 2050, as required by European legislation. The systematization of the most innovative best practices will offer a methodological-instrumental repertoire based on data also for infrastructure services, mobility flows, building technologies and the environmental impact that human activities generate. This experimental approach opens up numerous avenues in the understanding of the reasons behind certain climatic phenomena, helping, over time, small and large communities to take important decisions in the field of land management.