

Relazione scientifica annuale sull'attività svolta nell'ambito dell'assegno di ricerca "Elaborazione di strumenti e procedure per la sperimentazione di algoritmi di *machine learning* applicati al *Digital Twinning* a supporto dei processi di pianificazione e progettazione, finalizzata alla simulazione di scenari di sviluppo edilizio e urbano, per il miglioramento dei processi di monitoraggio e valutazione"

Assegnista di ricerca: Antonio Magarò

Docente referente: prof. Adolfo F. L. Baratta

Periodo di riferimento della relazione: dal 01.04.2022 al 31.03.2023

RINNOVO

---

## Parole chiave

Monitoraggio sviluppo edilizio, *Machine learning*, *Digital twin*, Simulazione urbana

### 1. Stato dell'arte

La progressiva urbanizzazione del territorio è una delle sfide più critiche che lo sviluppo e la conservazione dei patrimoni architettonici devono affrontare. Le città sono esposte a una crescente pressione sulle loro risorse, di qualsiasi genere esse siano. Secondo l'ONU [2018], il 68% della popolazione mondiale risiederà nel territorio urbanizzato entro il 2050. Il principio ispiratore delle smart cities è proprio quello di risolvere le problematiche legate all'espansione incontrollata delle città, alla crescente urbanizzazione delle aree rurali e della conseguente globalizzazione economica, potenzialmente distruttiva della dimensione sociale e ambientale dello sviluppo sostenibile. La smart city porta con sé il necessario e diffuso impiego della tecnologia informatica e delle telecomunicazioni, con lo scopo di migliorare la qualità della vita mediante rivoluzione sostenibile delle infrastrutture e contatto e interscambio con gli organi di *government* e *welfare* [Ismagrilova et al., 2019]. Le ricerche più recenti [Silva et al., 2018; Curzon et al., 2019; Kim et al., 2021] prevedono l'impiego di tecnologia "intelligente" nei campi del trasporto pubblico, della sanità e dell'energia, facendo affidamento sulla possibilità consentita dall'hardware (anche al livello consumer) di gestire un'enorme mole di dati (*Big Data*), sfruttando processori multicore prima dedicati alle sole applicazioni grafiche (spesso in ambito ludico e *entertainment*) [Honarvar e Sami, 2019]. L'impiego di tali tecnologie prevede l'integrazione di datasets eterogenei, spesso quali-quantitativi, che differiscono tra di loro in struttura, formato e metodi di storage [Espinoza-Arias et al., 2019].

Grazie alla possibilità di avere accesso e gestire una quantità sempre crescente di dati, il genere umano sta affrontando una nuova era in cui anche la pianificazione urbana, per essere smart e sostenibile, si basa su previsioni ottenute interpolando grandi quantità di dati. Questi ultimi, se bene confezionati, forniscono il necessario valore aggiunto per l'analisi e per il monitoraggio dei processi di sviluppo urbano [Konig, 2021]. Allo stesso tempo, cresce l'interesse relativo alla standardizzazione e all'armonizzazione dei dati, oltre che all'interoperabilità dei sistemi [Sabri et al., 2015].

Una politica territoriale appropriata richiede una conoscenza aggiornata delle condizioni di sviluppo del contesto urbano, ambientale, sociale ed economico. Ne scaturisce una

pianificazione ricca di informazioni chiave, necessarie per la creazione di scenari di sviluppo urbano sostenibile, concordemente con lo sfruttamento del suolo e con la simulazione di quest'ultimo e del suo utilizzo, con lo scopo di valutare le politiche più adeguate. L'integrazione di modelli sullo sfruttamento del suolo e sul suo utilizzo con scenari di politiche pianificatorie costituisce elemento essenziale per la gestione e la canalizzazione dello sviluppo urbano e del patrimonio [Domingo et al., 2021].

Nella forma attuale, l'analisi e il monitoraggio della pianificazione dell'uso del suolo si basano principalmente sulla redazione di appositi elaborati pianificatori, come i piani di sviluppo e conservazione. Le loro analisi e l'integrazione con gli altri strumenti urbanistici sono cruciali per l'esigenza del *public procurement* di valutare e coordinare gli effetti delle politiche territoriali derivanti dalle soluzioni pianificatorie adottate. Al contempo, operare una valutazione in tempo reale delle dinamiche dei cambiamenti nello sviluppo del territorio e la loro coerenza con i modelli previsionali acquista una fondamentale importanza nel momento in cui le popolazioni aumentano e si concentrano. Tutto questo richiede l'acquisizione e il successivo controllo di dati dal carattere misto, acquisiti e previsti. Finora, i principali sistemi informatizzati per la gestione di tali dati sono stati i GIS, in grado di fornire supporto per eventuali decisioni strategiche su aree designate [Gholizadeh et al., 2018]. La simulazione spaziotemporale dell'uso del suolo, intesa come approccio riproducibile (quindi scientifico) alla valutazione delle transizioni territoriali future, costituisce il più attuale supporto al decisore [Heistermann et al., 2006; Schulp et al. 2008]. Mentre fino agli anni Novanta [White et al., 1997; Clarke e Gaydos, 1988], i sistemi basati su "Cellular Automata" [Batty et al., 1997] erano utili a generare pattern per processi stocastici non lineari, applicabili alla complessità di modelli bottom-up che prescindevano dalla valutazione previsionale dell'uso del territorio [Liu et al, 2017], il *machine learning* è diventato il metodo imperativo per il monitoraggio [Rogan et al., 2008; Omrani, et al., 2019] e la previsione [Veldkamp e Lambin, 2001; Du e Shin, 2018] delle dinamiche urbane. Le tecniche di apprendimento automatico consentono un'accurata mappatura geografica, demografica e comprensiva di una serie diversificata di dati, con lo scopo di creare modelli di sviluppo territoriale e, al contempo, di valutare e minimizzare l'errore previsionale [Brown et al., 2013].

Recentemente, la ricerca ha dimostrato come i modelli basati su dati elaborati mediante *machine learning* siano mezzi potenti per l'approccio parametrico alla distribuzione corretta dell'utilizzo del territorio [Zhang e El Gohary, 2017; Song et al., 2018] con molteplici benefici, soprattutto in relazione alla gestione efficienti di una molteplicità di variabili multidimensionali [Witten e Frank, 2002].

L'amministrazione del territorio è un tema che produce informazioni e dati in differente formato, il cui trattamento è un processo sofisticato volto alla costruzione di modelli in grado di rendere comparabili e omogeneizzabili proprio tali differenze. Gli algoritmi e i metodi di *machine learning* si sposano con la gestione di tali dati, con l'unico vincolo della loro disponibilità.

## **2. Delimitazione del problema scientifico**

La programmazione edilizia del patrimonio è l'insieme degli atti e dei documenti tecnici, amministrativi e finanziari che costituiscono i programmi e i piani finalizzati alla gestione del patrimonio immobiliare, in maniera coordinata tra i differenti livelli.

Lo scopo della programmazione edilizia è quello di coordinare e gestire gli interventi di nuova edificazione, conservazione, adattamento, riuso e manutenzione del patrimonio immobiliare edilizio e impiantistico, oltre che di pianificare e coordinare la destinazione degli spazi razionalizzandone l'utilizzo nell'ottica dell'ottimizzazione della spesa.

Il patrimonio immobiliare del sistema delle Università italiane ha un'estensione pari a quella dell'intera città di Bologna, ammontando complessivamente a 14,5 milioni di m<sup>2</sup> per un controvalore stimabile in 34,4 miliardi di euro. Per comprendere l'ordine di grandezza, tralasciando il patrimonio immobiliare dello Stato che è il più grande in assoluto (70 miliardi circa), quello che più vi si avvicina è il patrimonio gestito dai Fondi d'investimento immobiliari, che ammonta a 30,5 miliardi di euro.

Le compagnie assicurative e gli enti previdenziali, a seguito di una serie di dismissioni, possiedono un patrimonio immobiliare che ammonta rispettivamente a 23,2 miliardi e 14,8 miliardi, mentre le Regioni vedono un patrimonio che è meno di un terzo di quello del sistema universitario. L'Università è da sempre una protagonista dello sviluppo organico della città in cui è insediata. Utilizza patrimoni di grandi dimensioni, così come edifici che si possono considerare unici, difficili da immaginare con una differente destinazione d'uso, spesso localizzati in aree strategiche. Molte Università italiane hanno avviato la pianificazione della gestione del loro patrimonio immobiliare e attivato strumenti di programmazione edilizia legati a obiettivi di medio e lungo termine. In generale, tali obiettivi, pur differenziandosi in base alle caratteristiche dei beni e dei contesti in cui questi *asset* patrimoniali sono inseriti, sono orientati verso l'ottimizzazione degli spazi in uso ai diversi Dipartimenti, e, in alcuni casi, determinano l'espansione immobiliare dell'Ente. In un ampio e coordinato programma di intervento, è di fondamentale importanza non lasciarsi condizionare dalla volontà di operare tagli indiscriminati di spazi e servizi, in relazione a dati statistici sul calo delle iscrizioni. Piuttosto, appare utile analizzare a fondo i dati e stabilire indicatori innovativi per la valutazione, con lo scopo di raggiungere l'ottimizzazione, non sempre sinonimo di riduzione.

L'Università degli Studi di Foggia e l'Università degli Studi di Genova hanno stipulato delle convenzioni con il Dipartimento di Architettura dell'Università degli Studi Roma Tre (Responsabile scientifico prof. Adolfo F. L. Baratta). Tali convenzioni hanno lo scopo di fornire al partner uno scenario previsionale di sviluppo del proprio patrimonio edilizio in ragione di una serie di analisi preliminari qualitative e quantitative relative all'utilizzo reale dello stesso. Tale strumento, che peraltro presenta una serie di modelli di calcolo innovativi per la quantificazione del fabbisogno spaziale nel tempo, si prefigge di diventare uno strumento di supporto al *decision making*, in grado di orientare le scelte di politica universitaria, con inevitabile riverbero sulle città in cui si insediano.

Inoltre, la Fondazione Collegio San Carlo di Modena ha attivato una convenzione con il Dipartimento di Architettura dell'Università degli Studi Roma Tre (Responsabile scientifico prof. Fabrizio Finucci) finalizzata allo sviluppo di metodi e tecniche di fattibilità economico-finanziaria negli interventi di recupero del patrimonio esistente. In particolare, la Fondazione Collegio San Carlo ha esperienza decennale nella gestione di residenze per studenti universitari collocate all'interno di edifici storici riqualificati.

All'assegnista è stato richiesto un contributo per gli aspetti complementari che attraversano entrambe le ricerche, mediante l'implementazione di strumenti innovativi, basati su algoritmi per l'Intelligenza Artificiale e per il *machine learning*, finalizzati alla creazione di *Digital Twin Models* in grado di operare simulazioni urbane e a livello di edificio, quali modelli predittivi utili anche al monitoraggio degli interventi di rigenerazione urbana.

### 3. Obiettivi

L'obiettivo della ricerca svolta dall'assegnista è stato quello di intervenire sul tema della previsionale dello sviluppo del patrimonio architettonico pubblico, nell'ambito di un contesto urbano, con particolare riferimento ai patrimoni edilizi universitari.

Tale obiettivo è stato perseguito sia dal punto di vista programmatico/progettuale sia dal punto di vista tecnico/applicativo. In particolare, coerentemente con quanto esposto nella relazione di chiusura del primo anno di ricerca, gli obiettivi prefissati dall'assegnista sono stati:

- analisi relativa alla fattibilità tecnologica per il recupero e la valorizzazione del patrimonio esistente;
- definizione dei caratteri preliminari e dei contenuti minimi di future linee guida per l'impiego corretto di algoritmi di intelligenza artificiale utili al recupero e alla valorizzazione del patrimonio esistente in relazione alle trasformazioni urbane che esso determina;
- supporto alla richiesta di cofinanziamenti pubblici con riferimento alla programmazione e alle procedure necessarie per la preparazione di domande di cofinanziamento;
- analisi relativa alla fattibilità nell'impiego di algoritmi noti quali modelli predittivi dello sviluppo urbano e del degrado edilizio;
- analisi relativa alla fattibilità tecnica relativa alla realizzazione di una rete neurale associata a un set di dati costruito per il suo addestramento, con lo scopo di supportare il processo decisionale programmatico (a livello urbano) e manutentivo (a livello edilizio);
- individuazione e applicazione delle tecniche di normalizzazione dei dati in ingresso per la riduzione dell'errore previsionale.

Tali obiettivi sono stati conseguiti durante il periodo di durata dell'assegnato di ricerca, e del suo rinnovo, oggetto della presente relazione.

Tuttavia, ci si propone di perseguire ulteriori obiettivi di approfondimento, utili al raggiungimento di risultati funzionali prodotto di applicazioni su casi di studio reali.

### 4. Risultati conseguiti

Coerentemente con quanto relazionato nel documento intermedio, alla chiusura del primo anno, i risultati ottenuti dall'assegnista sono riassumibili nei seguenti punti:

- a. è stato eseguito uno studio teorico preliminare in relazione all'impiego della cosiddetta "*master equation*", equazione che genera un sistema di equazioni differenziali in grado di descrivere, in maniera generale, un sistema complesso governato da leggi stocastiche;

- b. sono stati selezionati una serie di algoritmi, tra quelli noti e meno noti, utili a essere applicati per l'elaborazione di un modello predittivo relativo alla previsionalità dello sviluppo urbano legato ad una specifica trasformazione di rigenerazione del patrimonio edilizio, e alla previsionalità del degrado legata all'ottimizzazione dei processi manutentivi e gestionali;
- c. sono stati operati una serie di confronti di verifica tra le simulazioni e le osservazioni sul campo, con lo scopo di calibrare l'algoritmo, aspetto cruciale finalizzato a conferire valore previsionale al modello;
- d. è stata modellizzata e programmata una rete neurale ed è stato descritto il modello di addestramento (a livello teorico);
- e. l'assegnista ha partecipato al Convegno "Modena Smart Life" tenutosi il 25.09.2021, con un intervento dal titolo "Il Collegio come infrastruttura smart". Inoltre, è stato pubblicato l'articolo "Ecosistemi domestici intelligenti per l'utenza fragile" sulla rivista di classe A *Techne Journal of Technology for Architecture and Environment* (n. 23). Durante il periodo di ricerca, l'assegnista ha contribuito alla stesura del volume "Il piano strategico di sviluppo edilizio dell'Università degli Studi di Foggia 2021" a cura di Adolfo F. L. Baratta, con la redazione dei capitoli 1, 3, 4, 6 e 13. Inoltre, l'assegnista ha contribuito alla stesura del volume "Linee guida per il Piano Strategico di Sviluppo e Conservazione edilizia dell'Università di Genova 2022", a cura di Adolfo F. L. Baratta e Laura Calcagnini, con la redazione dei capitoli 6, 9, 10 e 11.2. Infine, è stata pubblicata la monografia dell'assegnista intitolata "Valutazione multicriteriale integrata nel processo progettuale: un approccio generativo" edita da ETS (Pisa).
- f. nell'ambito della ricerca è stato sperimentato il miglioramento degli algoritmi predittivi all'interno di un ambiente di sviluppo creato appositamente. Questo ha consentito di implementare una rete neurale più efficiente, basata sull'impiego di *hardware* dedicato, in grado di accelerare il *training* limitando, al contempo, consumi energetici e costi di gestione;
- g. è stato sviluppato un *dataset* di *training*, selezionando tra i dati a disposizione in un particolare momento del ciclo di vita di un edificio o di una urbanizzazione, in modo da poter operare in *supervised learning*, per addestrare la rete neurale

## 5. Ulteriori sviluppi

Nell'ambito della ricerca, l'assegnista suggerisce la possibilità di portare a termine lo sviluppo di uno *Urban Digital Twin Model*, con lo scopo di generare scenari di sviluppo alla scala delle parti di patrimonio edilizio, fino alla scala della città. Dal confronto tra tali scenari di sviluppo e quelli predittivi del medesimo sviluppo, determinati dalla rete neurale allenata mediante una selezione più accurata di algoritmi esistenti, o mediante la progettazione di un algoritmo *ad hoc*, si possono ricavare informazioni utili alla verifica delle ipotesi, in grado di supportare strategie di *governance* e programmazione edilizia relativa a patrimoni di differente complessità.

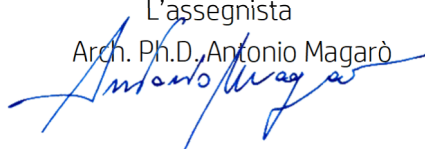
Allo stesso tempo, la ricerca può evolvere alla scala dell'edificio, puntando alla realizzazione di un *Building Digital Twin*, in grado di simulare il ciclo di vita utile di un edificio, arrivando a

modellizzare i meccanismi di degrado e obsolescenza con lo scopo di ottimizzare le pratiche manutentive ingenerando consistenti efficientamenti di gestione.

### Riferimenti Bibliografici

- Batty, M.; Couclelis, H.; Eichen, M. [1997]. "Urban systems as cellular automata". *Environ. Plan. B Plan. Des.*, 24, pp. 159–164.
- Brown, D.; Verburg, P.H.; Pontius, R.; Lange, M.D. [2013]. "Opportunities to improve impact. integration and evaluation of land change models". *Curr. Opin. Environ. Sustain.*, 5, pp. 452–457.
- Clarke, K.C.; Gaydos, L.J. [1998]. "Loose-coupling a cellular automation model and GIS: Long-term urban growth prediction for San Francisco and Washington/Baltimore". *Int. J. Geogr. Inf. Sci.*, 12, pp. 699–714.
- Curzon, J.; Almeahadi, A.; El-Khatib, K. [2019]. "A survey of privacy enhancing technologies for smart cities". *Pervasive and mobile computing*, 55, pp. 76–95.
- Domingo, D., Palka, G., & Hersperger, A. M. (2021). "Effect of zoning plans on urban landuse change: A multi-scenario simulation for supporting sustainable urban growth". *Sustainable Cities and Society*, 69, 102833.
- Du, G.; Shin, K.J. [2018]. "A comparative approach to modelling multiple urban land use changes using tree-based methods and cellular automata: The case of Greater Tokyo Area". *Int. J. Geogr. Inf. Sci.*, 32, pp. 757–782.
- Espinoza-Arias, P.; Poveda-Villal´on, M.; García-Castro, R., & Corcho, O. [2019]. "Ontological representation of smart city data: From devices to cities". *Applied Sciences*, 9(1).
- Gholizadeh, P.; Esmaili, P.; Goorum, B. [2018]. "Diffusion of Building Information Modeling functions in the construction industry". *J. Manag. Eng.*, 34, 04017060.
- Heistermann, M.; Muller, C.; Ronneberger, K. [2006]. « Land in sight? Achievements, deficits and potentials of continental to global scale land-use modelling". *Agric. Ecosyst. Environ.*, 114, pp. 141–158.
- Honarvar, A. R.; Sami, A. [2019]. "Towards sustainable smart city by particulate matter prediction using urban big data, excluding expensive air pollution infrastructures". *Big Data Research*, 17, pp. 56–65.
- Ismagilova, E.; Hughes, L.; Dwivedi, Y. K.; Raman, K. R. [2019]. "Smart cities: Advances in research-an information systems perspective". *International journal of information management*, 47, pp. 88–100.
- Kim, H.; Choi, H.; Kang, H.; An, J.; Yeom, S.; Hong, T. [2021]. "A systematic review of the smart energy conservation system: From smart homes to sustainable smart cities". *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 140, 110755.
- Konig, P. D. [2021]. "Citizen-centered data governance in the smart city: from ethics to accountability". *Sustainable Cities and Society*, 75, 103308.
- Liu, X.; Liang, X.; Li, X.; Xu, X.; Ou, J.; Chen, Y.; Li, S.; Wang, S.; Pei, F. [2017]. « A Future Land-Use model (FLUS) for simulating multiple land use scenarios by coupling human and natural effects". *Landsc. Urban Plan.*, 168, pp. 94–116.

- Omrani, H.; Parmentier, B.; Helbich, M.; Pijanowski, B. [2019]. "The land transformation model-cluster framework: Applying k-means and the Spark computing environment for large scale land change analytics". *Environ. Model. Softw.*, 111, pp. 182–191.
- ONU [2018]. "World urbanization prospects: The 2018 revision", disponibile da: <https://population.un.org/wup/publications/Files/WUP2018-Report.pdf> (consultato il 28.07.2023).
- Rogan, J.; Franklin, J.; Stow, D.; Miller, J.; Woodcock, C.; Roberts, D. [2008]. "Mapping land-cover modifications over large areas: A comparison of machine learning algorithms". *Remote Sens. Environ.*, 112, pp. 2272–2283.
- Sabri, S.; Rajabifard, A.; Ho, S.; Namazi-Rad, M. R.; Pettit, C. [2015]. "Alternative planning and land administration for future smart cities". *IEEE Technology & Society Magazine*, 34(4), p. 33.
- Schulp, C.J.; Naburrs, G.; Verburg, P.H. [2008]. "Future carbon sequestration in Europe-effects of land use change". *Agric. Ecosyst. Environ.*, 127, pp. 251–264.
- Silva, B. N.; Khan, M.; Han, K. [2018]. "Towards sustainable smart cities: A review of trends, architectures, components, and open challenges in smart cities". *Sustainable Cities and Society*, 38, pp. 697–713.
- Song, J.; Kim, J.; Lee, J.K. [2018]. « NLP and deep learning-based analysis of building regulations to support automated rule checking system". In *Proceedings of the 35th International Symposium on Automation and Robotics in Construction (ISARC)*; IAARC Publications: Waterloo, ON, Canada.
- Veldkamp, A.; Lambin, E.F. [2001]. "Predicting land-use change". *Agric. Ecosyst. Environ.*, 85, pp. 1–6.
- White, R.; Engelen, G.; Ulijee, I. [1997]. "The use of constrained cellular automata for high-resolution modelling of urban land-use dynamics". *Environ. Plan. B Plan. Des.*, 24, pp. 323–343.
- Witten, H.; Frank, E. [2002]. "Data Mining: Practical Machine Learning tools and techniques with java implementations". *ACM SIGMOD Rec.*, 31, pp. 76–77.
- Zhang, J.; El-Gohary, N. [2017]. "Integrating semantic NLP and logic reasoning into a unified system for fully-automated code checking". *Autom. Constr.*, 73, pp. 45–57.

L'assegnista  
Arch. Ph.D. Antonio Magarò  


Responsabile Scientifico  
Prof. Adolfo E. I. Baratta  
