



Plan AIr

Urban Artificial Intelligence:
Approaches, Tools,
Opportunities and
Challenges

CONTESTI

CITTÀ TERRITORI PROGETTI

Rivista di Urbanistica e
Pianificazione del Territorio
Università degli Studi di Firenze



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
FIRENZE



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
FIRENZE

Dipartimento
di Architettura

CONTESTI

CITTÀ TERRITORI PROGETTI

2 | 2025

Firenze University Press | ISSN 2035-5300

Direttore responsabile, II serie

Susanna Caccia Gherardini

Direttore scientifico, II serie

David Fanfani

Co-direttrice, II serie

Elena Tarsi

Curatori

Camilla Perrone, Stefano Borgo, Giulia Guadagnoli

Comitato scientifico

Arnaldo Cecchini (Università di Sassari), Giuseppe De Luca (Università di Firenze), Guillaume Faburel (Université Lumière Lyon 2, UFR Temps et Territoires, France), Roger Keil (York University of Toronto, Canada), Philipp Klaus (ETH, Zürich, Switzerland), Francesco Lo Piccolo (Università di Palermo), Francesco Domenico Moccia (Università di Napoli Federico II), Raffaele Paloscia (Università di Firenze), Gabriele Pasqui (Politecnico di Milano), Daniela Poli (Università di Firenze), Qisheng Pan, (Tongji University, China), Joe Ravetz, (University of Manchester, UK), Federico Savini (Urban Studies Center, University of Amsterdam), Namperumal Sridharan (School of Planning and Architecture, New Delhi, India), Paolo Pileri (Politecnico di Milano, Italy), Vikas Chand Sharma (Chandigarh University, India).

Comitato editoriale

Roberto Bobbio (Università di Genova), Maria Rita Gisotti (Università di Firenze), Laura Colini (Tesserae Urban Social Research, Germany), Matteo Clementi (Politecnico di Milano), Luna d'Emilio (Ecole Nationale Supérieure d'Architecture de Lyon, France), Bruno De Andrade (TU Delft, The Netherlands), Alessia De Biase (ENSA-Université Paris La Villette, France), David Arredondo Garrido (Universidad de Granada, Spain), Francesco Gastaldi (IUAV, Venezia), Iacopo Zetti (Università di Firenze), Oana-Ramona Ilovan (Babeş-Bolyai University Cluj-Napoca, Romania), Valérie Jousseume (Université de Nantes -IGARUN, France), Claire Kelly (University of Plymouth, UK), Rontos Kostas (University of the Aegean, Greece), Giovanni Laino (Università di Napoli Federico II), Elena Marchigiani (Università di Trieste), Rovai Massimo (Università di Pisa), Alberto Matarán Ruiz (Universidad de Granada, Spain), Ana Zazo Moratalla (Universidad del Bío Bío. Concepción, Chile), Skirmantė Mozūriūnaitė (Technical University of Vilnius, Lithuania), Carlo Pisano (Università di Firenze), Fabio Lucchesi (Università di Firenze), Cristiana Rossignolo (Politecnico di Torino), Laura Saija (Università di Catania), Luca Salvati (Università di Macerata), Carolina Yacamán Ochoa (Universidad Compuntense of Madrid, Spain), Mingjie Wang (Zhejiang International Studies University, China), Enrico Gottero (Politecnico di Torino), Maddalena Rossi (Università di Firenze), Rossella Moscarelli (Politecnico di Milano).

Managing Editors

Cassandra Fontana, Benedetta Masiani

Contatti

Contesti. Dipartimento di Architettura, Via della Mattonaia 8, 50121, Firenze, Italy
contesti@dida.unifi.it

graphic design

didacommunicationlab

DIDA Dipartimento di Architettura
Università degli Studi di Firenze
via della Mattonaia, 14
50121 Firenze, Italy
© 2025

published by

CC 2025 **Firenze University Press**

Università degli Studi di Firenze
Firenze University Press
Borgo Albizi, 28, 50122 Firenze, Italy
www.fupress.com

SOUTHERN TRANSITIONS. FACING CLIMATE CHANGE AND ECOLOGICAL DEGRADATION IN THE GLOBAL SOUTH

SOMMARIO | TABLE OF CONTENTS

PlanAIr. Planning and Artificial Intelligence in Urban Research Camilla Perrone, Stefano Borgo, Giulia Guadagnoli	6
---	----------

Saggi / Essays

AI, Data and Ontology: The Epistemic Turn in Urban Planning Stefano Borgo, Camilla Perrone	14
Marshall McLuhan e l'intelligenza artificiale urbana <i>Marshall McLuhan and Urban Artificial Intelligence</i> Luca Gaeta	28
Jumping Off AI Anxiety and Enthusiasm Bandwagons: The Legacy of Positivism and Its Pluralist Antidotes in Planning Thought and Information Science Giulia Guadagnoli	38
Intelligenza artificiale, da un mondo distopico al riconoscimento del patrimonio territoriale <i>Artificial Intelligence: From a Dystopian World to the Recognition of Territorial Heritage</i> Claudio Saragosa, Maddalena Rossi	56

Ricerche / Research

Pianificazione intelligente nell'era dell'incertezza: decisioni, conoscenza, complessità e tecnologie emergenti <i>Smart Planning in the Age of Uncertainty: Decisions, Knowledge, Complexity, and Emerging Technologies</i> Domenico Camarda	72
On small area composite indicators and classifications for urban planning: theory-driven and data-driven approaches Alessia Calafiore	94
Ottimizzazione delle città intelligenti: l'utilizzo dei gemelli digitali e dell'intelligenza artificiale nei processi decisionali urbani <i>Optimising Smart Cities: The Use of Digital Twins and Artificial Intelligence in Urban Decision-Making Processes</i> Paolo Nesi, Chiara Garau, Paola Zamperlin	110
L'intelligenza artificiale per la città a 15 minuti: una proposta per innovare la pianificazione dei servizi a Milano <i>Artificial Intelligence for the 15-Minute City: A Proposal to Innovate Service Planning in Milan</i> Francesco Berni, Andrea Bartolini	130

Urban Artificial Intelligence in Mobility Infrastructure: Lessons for Just and Inclusive Cities Asma Mehan	150
Data centers and the city. The territorial impacts of the growing data economy, with a focus on Italy Cristiana Mattioli, Alice Franchina	168
Fra mente e algoritmo: l'intelligenza artificiale nel progetto urbano <i>Between Mind and Algorythm: Artificial Intelligence in Urban Design</i> Iacopo Zetti, Biagio Martino	192
Lecture / Readings	
The Sciences of the Artificial Herbert A. Simon	214

PlanAlr. Planning and Artificial Intelligence in Urban Research

Camilla Perrone

Dipartimento di Architettura,
Università degli Studi di Firenze
camilla.perrone@unifi.it
orcid.org/0000-0001-5829-0416

Stefano Borgo

Istituto di Scienze e Tecnologie della Cognizione, CNR
stefano.borgo@cnr.it
orcid.org/0000-0001-6001-2765

Giulia Guadagnoli

Dipartimento di Architettura,
Università degli Studi di Firenze
giulia.guadagnoli@unifi.it
orcid.org/0000-0002-4954-3327

Received: December 2025 / Accepted: December 2025 | © 2025 Author(s).
This article is published with Creative Commons license CC BY-SA 4.0 Firenze
University Press.
DOI: 10.36253/contest-17037

keywords

urban
artificial intelligence
Novacene
ontology

Forty years of Gaia

In the 1970s James Lovelock's Gaia (Lovelock, 1972; 1979) revolutionized our understanding of Earth, presenting it as a self-regulating, living organism – a system capable of maintaining the conditions necessary for life. Today, Lovelock challenges us to confront a new geological and philosophical frontier: the expression Novacene marks an era in which intelligent machines, born of human ingenuity, begin to surpass our control (Lovelock, 2019). The Novacene is not merely a continuation of the Anthropocene; it is a radical departure, defined by the rapid acceleration of “reasoning” technologies and the necessity of using computers to design other computers. Unlike dystopian narratives of machine supremacy, Lovelock envisions a

future grounded in alliance: between humans and living beings, the natural and the artificial, social intelligence and artificial intelligence. This alliance, he argues, is not only possible but essential for the survival and flourishing of Gaia, the living Earth.

Cities as Crucibles of the Novacene

The city, as the most complex artifact of the Anthropocene, stands at

Drawing on James Lovelock's concept of the Novacene, this editorial for the PlanAlr thematic issue frames the contemporary city as the primary crucible in which the alliance among human intelligence, artificial intelligence (AI), and ecological systems is negotiated. It argues that the current dominant paradigm of “Urban AI”—largely confined to data-driven optimization and “weak AI”—is insufficient for addressing the socio-ecological and cognitive complexities of the Anthropocene. Building on this analysis, the

editorial introduces the special issue PlanAIr to investigate the “epistemic turn” in urban planning and to explore how AI necessitates a rethinking grounded in urban ontology, concept-driven governance models, and hybrid design methodologies. This collection of interdisciplinary contributions takes a first step toward bridging the gap between data-driven approaches and cognitive reasoning, moving beyond the efficiency narratives of the smart city.

The editorial contends that, with a generative, hybrid, and ontology-aware AI, we can shift from exploiting AI as a tool for management to engaging AI as a partner in co-creating inclusive, transparent, and resilient urban futures.

the heart of this transition. Cities are more than physical spaces; they are dynamic, combinatorial machines, as Ash Amin and Nigel Thrift describe in *Seeing Like a City* (Amin, Thrift, 2017). They are generative systems, shaped by socio-ecological and sociotechnical networks that connect humans and non-humans, producing both social and artificial intelligence. In the Novacene,

cities become the primary sites where the relationship between humanity, technology, and the planet can be negotiated, contested, and reimagined.

Cities are the inheritance of the Anthropocene and the protagonists of the Novacene. They are hubs of creativity and transformation, as well as laboratories for experimentation and co-production. As assemblages of technologies, infrastructures, institutions, and bodies, cities embody the “moorings and motilities” that define urban life. They are where the potential of AI meets the realities of human experience—where algorithms shape traffic flows, energy grids, and social interactions, but also where the ethical, political, and ecological implications of these technologies are most acutely felt.

The rise of “urban AI”, as articulated by Michael Batty (2007; 2013), reflects this intersection. Urban AI seeks to simulate and replicate the complexity of human thought, yet its current manifestations are largely confined to “weak AI”: systems designed for specific, instrumental tasks, such as predicting traffic patterns or optimizing resource allocation. While these applications offer undeniable benefits, they barely scratch the surface of what AI could achieve in urban contexts. The dominant focus on optimization risks reducing cities to efficient machines, rather than vibrant, equitable, and adaptive ecosystems.

Beyond Optimization: Toward a Generative Urban AI

The potential of AI in cities extends far beyond efficiency. Batty's framework – cognitive, data-driven, and hybrid approaches – provides a useful taxonomy for understanding the diverse aims and applications of urban AI. The cognitive approach, rooted in models of human reasoning, offers a path toward AI that can engage with the nuanced, often irrational dimensions of urban life. The data-driven approach, while powerful, must be critically examined for its biases, limitations, and unintended consequences. The hybrid approach, which integrates both, may hold the greatest promise for developing AI systems that are not only intelligent but also responsive to the ethical and ecological complexities of urban environments.

Yet, the integration of AI into urban life raises profound questions: How can we ensure that these technologies serve the public good, rather than exacerbating inequality or eroding democracy? How can we harness AI not just to manage cities, but to imagine and create better ones? And how can we design urban AI systems that are transparent, fair, sustainable for and accountable to the communities and the ecologies they affect?

A Call for Critical and Creative Engagement

This thematic issue invites to ponder and explore the possibilities and challenges of

urban AI in the Novacene, seeking contributions that move beyond technical optimization to address the broader implications of AI for urban design, governance, and social justice. We encouraged submissions that:

- Interrogate the alliance between humans, machines, and Gaia, asking how cities can foster symbiotic relationships that support both technological innovation and ecological sustainability;
- Examine the ethical and political dimensions of urban AI, including issues of fairness, transparency, and democratic participation;
- Propose new frameworks for classifying and applying AI in urban contexts, with an emphasis on generative, rather than merely predictive, uses of technology;
- Imagine alternative urban futures, where AI is not a tool of control but a partner in co-creation, enabling cities to become more inclusive, resilient, and creative.

The Novacene is not a distant possibility – it is unfolding now, in the algorithms that govern our cities, the infrastructures that shape our lives, and the choices we make as a society. The question is not whether we will enter this new epoch, but how we will shape it.

Reflecting on Artificial Intelligence and the Future of Urban Planning: the contributions in PlanAIr thematic issue

The intersection of urban planning and artificial intelligence (AI) is rapidly reshaping

how we understand, conceive, design, govern, manage and experience cities. The papers in the PlanAlr thematic issue bring together a diverse set of perspectives that critically examine the opportunities, challenges, and epistemological shifts prompted by the integration of AI into urban planning practice and reveal AI's transformative potential across diverse urban challenges – from service accessibility and mobility to the spatial and social impacts of digital infrastructure.

At the heart of this transformation lies the ontological and epistemological turn in urban planning, as explored by Stefano Borgo and Camilla Perrone. Their contribution underscores the need for structured knowledge frameworks – ontologies – that can harmonize the vast, heterogeneous data streams now available, enabling more coherent and intelligent decision-making in urban contexts.

Luca Gaeta invites us to reconsider the very nature of urban AI through the lens of media theory, drawing on Marshall McLuhan's humanistic legacy. Gaeta argues for a broader understanding of collective intelligence, one that embraces sociotechnical systems and moves beyond narrow, efficiency-driven narratives of the smart city.

Giulia Guadagnoli addresses the polarized reactions – anxiety and enthusiasm – that AI often provokes in planning circles. By tracing the roots of contemporary AI optimism to positivist traditions and showcasing post-

positivist alternatives, Guadagnoli advocates for a shared pluralist approach in interdisciplinary collaboration between like-minded planners and computer scientists toward responsible and inclusive AI applications.

Domenico Camarda situates the potential of AI within the broader evolution of planning theory and practice. He highlights the tension between traditional top-down models and the need for adaptive, multi-agent, and knowledge-based approaches, especially in an era marked by uncertainty and complexity. His analysis of generative AI and applied ontologies reveals both the promise and the pitfalls of these technologies, emphasizing the importance of participatory processes and equitable outcomes.

Alessia Calafiore's paper bridges the divide between theory-driven and data-driven approaches in urban planning. Through a critical examination of small-area composite indicators and classifications, she demonstrates the complementary value of both paradigms, while cautioning against technocratic and decontextualized applications. Her call for reflexivity, situated knowledge, and openness resonates with the broader drive to integrate AI tools with human judgement and local context.

Paolo Nesi, Chiara Garau, and Paola Zamperlin focus on the potentiality of data-driven approaches presenting a compelling case for the use of digital twins and AI in urban

decision-making. Their discussion of the Snap4City platform illustrates how virtual replicas of cities, powered by real-time data and advanced AI models, can enhance responsiveness, resilience, and long-term strategic planning, ultimately improving the quality of urban life.

Francesco Berni and Andrea Bartolini investigate how AI can innovate service planning within the framework of the 15-minute city, using Milan as a case study. They argue that data-driven approaches are essential to overcoming the limitations of traditional urban standards, especially in contexts where public debate and private transformations intersect.

Asma Mehan shifts the focus to mobility infrastructure, examining how Urban AI systems –through real-time decision-making and infrastructure coordination – can enhance efficiency and resilience. Through U.S. case studies, Mehan demonstrates that the legitimacy of these systems hinges on integrating equity, transparency, and participatory governance, positioning Urban AI as a cornerstone of just and inclusive cities.

Cristiana Mattioli and Alice Franchina address the territorial impacts of the burgeoning data economy, with a focus on Italy's emerging role in the European data center landscape. Their analysis underscores the urgent need for clear regulations and informed decision-making to manage the physical, governance, and

socioeconomic implications of these critical infrastructures.

Claudio Saragosa and Maddalena Rossi offer a critical reflection on the relationship between AI, power, and urban space. Drawing on Foucault and Han, they challenge dystopian narratives and technocratic visions, advocating instead for AI as a tool to recognize and enhance territorial heritage. Their proposal for a “right to the city” in the AI era emphasizes the integration of physical and digital dimensions to support collective well-being.

Finally, Iacopo Zetti and Biagio Martino present a case study on AI in urban design, comparing algorithmic and traditional approaches. Their findings highlight AI's strengths in rapid environmental simulation and layout generation, while stressing the irreplaceable role of human designers in interpreting urban complexity and embedding social values into spatial solutions.

Together, these papers offer a rich tapestry of insights, challenging readers to consider, beside the technical capabilities of data-driven AI, the modelling advantages of cognitive AI in terms of ethical, theoretical, and participatory dimensions. As cities continue to evolve, the integration of AI into urban planning demands a nuanced, interdisciplinary dialogue – one that this special issue aims to foster.

References

Amin, A., & Thrift, N. (2017). *Seeing like a city*. John Wiley & Sons.

Batty, M. (2007). *Cities and complexity: understanding cities with cellular automata, agent-based models, and fractals*. The MIT Press.

Batty, M. (2013). *The new science of cities*. MIT Press.

Lovelock, J., (1972) "Gaia as seen through the atmosphere." *Atmospheric Environment* 6.8 (1972): 579-580.

Lovelock, J., (1979) *Gaia: A New Look at Life on Earth*. Oxford: Oxford University Press

Lovelock, J., (2019) *Novacene: The Coming Age of Hyperintelligence*. London: Penguin Books.

Saggi
Essays

AI, Data and Ontology: The Epistemic Turn in Urban Planning¹

Stefano Borgo

Istituto di Scienze e Tecnologie della Cognizione, CNR
stefano.borgo@cnr.it
orcid.org/0000-0001-6001-2765

Camilla Perrone

Dipartimento di Architettura,
Università degli studi di Firenze
camilla.perrone@unifi.it
orcid.org/0000-0001-5829-0416

Received: September 2025 / Accepted: December 2025 | © 2025 Author(s).
This article is published with Creative Commons license CC BY-SA 4.0 Firenze
University Press.
DOI: 10.36253/contest-16796

keywords

artificial intelligence
applied ontology
data
city
complexity

1. Introduction

We all rely on conceptual schemata to understand the world around us. These schemata are influenced, if not determined, by a series of factors: from our biology and cognitive abilities to our social experiences and cultural environment. Schemata offer a selective and, therefore, simplified interpretation of what surrounds us and of how it changes over time. They are useful both for commonsense things, such as to establish that when our cat goes behind the sofa, it does not cease to exist even if we cannot perceive it, and for complex relations, such as to determine that when prices rise, the money we have in our pocket allows us to buy fewer items.

These schemata are not static. The world around us changes, our knowledge increases, we might be interested in different things or in a different understanding of what happens; there are many reasons that push us to revise our conceptual schemata from time to time, and to adapt them or add new ones. The developments that have lasting consequences, such as the introduction of new tools, from electronic devices to medical treatments, are

In recent years, cities have undergone a dramatic evolution as they have become increasingly connected, data-rich environments. Urban artificial intelligence (AI) has emerged as a transformative force, empowering city planners, policymakers, and researchers to address complex challenges ranging from resource management to public safety. However, the sheer abundance of data in contemporary urban settings also presents significant ontological challenges, which become even more crucial when undertaking urban planning. These challenges revolve around the

conceptualization, classification, and integration of heterogeneous data sources into coherent models capable of supporting intelligent decision-making.

In this article, we examine these ontological issues, discuss existing frameworks that aim to unify fragmented information, and explore the practical implications for urban AI applications. The thesis is that ontologies—structured and formal representations of knowledge—offer a powerful tool to address the challenges outlined above, while serving as a blueprint for defining, categorizing, and interrelating the entities present in urban environments and putting them to work in urban planning.

real challenges for our conceptual schemata. Some innovations, like the introduction of modern travel systems (trains, aeroplanes) and transmission systems (smartphones, satellites), even alter our way of thinking about the world and the meaning of notions that we treat as “natural” and “common sense”, such as distance (in the former case) and communication (in the latter).

It would be interesting to analyse the impact of developments in Artificial Intelligence (AI)

over the past 15 years on how we understand the world: the new tools made possible by approaches like Machine Learning (ML) and Large Language Models (LLMs), are changing our conceptual schemata. As Romele argues, “these new technologies are not only radically transforming our interactions with the world or our modes of production and consumption but also our worldview” (Romele, 2023).

This article examines one aspect of the complex relationship between us and the world, or rather us in the world. It aims to demonstrate that the innovative tools provided by AI, such as ChatGPT² and DeepSeek³, revitalise old problems that our conceptual schemata still struggle to address. Essentially, the relationship that AI tools establish with data (in terms of their generation, use and meaning) has not changed from the past. Today, much like in earlier times, we create tools with an opportunistic view of data, and this has consequences – consequences that are more impactful today, and this impact is a problem that calls for attention.

Here we invite the reader to pay attention to data, their use and their meaning. If the innovations brought by AI are significant, as they are, they also generate unjustified, if not unrealistic, expectations. These expectations are only in part attempts to foresee an uncertain future and to anticipate the changes that new technology brings to our way of interacting with the physical world, and to how

our social systems evolve. In some cases, which are our focus in this paper, these unjustified expectations are due to the fact that AI tools and us are connected to reality via different media. AI tools rely on data, and the type and quality of these data are not questioned as they should. Therefore, while much technical work is being put into the analysis of algorithms' quality and transparency—an area in which the scientific community is rightly dedicating substantial energy—our focus here will be on *the problem of using data for what they seem to be without reflecting enough about what they actually are*.

2. Symbolic AI and Data-Driven AI

When discussing the meaning of data, it is useful to recall a classical distinction in AI: symbolic AI (the semantic-cognitive approach to AI) and sub-symbolic AI (the data-driven approach to AI) [Calegari et al., 2020].⁴ Data-driven AI refers to artifacts that essentially use databases as inputs for computation (think of them as long lists of alphanumerical values). These databases collect values of physical quantities in a portion of the world. For example, a sensor installed on a road sends signals that increment a counter, such as indicating how many vehicles have passed on a certain road; a key pressed on a keyboard adds a letter to a sequence, such as building a linguistic expression. Simplifying the example, let us assume that data-driven AI uses the

values from the sensor without considering the type of sensor used, its location, how it works, or why it has been put in that place. Similarly, it considers the sequence of typed letters without assuming that it was written to state a meaning. This approach in AI uses data as mere values, not as the result of some unique interaction between things in the world: that sensor and the precise surrounding environment, that device and that specific user. By taking into account how data are created, i.e., the characteristics of the interaction where data is produced, we can turn a sensor from a data generator to an information provider.

Symbolic AI is designed to take the latter position. Not only does it acquire the numerical value from the sensor but also assigns it a semantic meaning taking into account where it is situated, how it works and for what reasons it is used. In other words, symbolic AI aims to work with the meaning of data. There are many ways to work with meaning. It can be as simple as assigning labels to the data. In our example, symbolic AI could relate the number given by the sensor to the expression: “this is the number of times the sensor was activated during the day,” or, considering the location and purpose of putting the sensor there, to the expression: “this is the number of vehicles that passed that road and triggered the sensor during the day.” The two ways to describe the data carry different information.

One is about the internal functioning of the sensor (it activated n times), the other is about the purpose for having it there (it registered the passage of n vehicles). Note that the latter is more interesting but also less reliable: the sensor might be activated or not due to unforeseen factors. After all, a sensor is a device and, as such, subject to malfunction, incorrect use or wrong setting, it may be badly designed or triggered by unforeseen causes like electromagnetic interference, people tampering with it, changes in ambient light, inertia after an activation, obstructions, bad communication connection and so on. Knowing how to interpret the data coming from the sensor provides us with significant advantages, but the sensor and its use must be reliable: the quality of the elaboration of an AI algorithm depends on the data we start with. The simple examples we have provided illustrate how complex it is to verify that the sensor interacts with its surroundings as expected and, consequently, that the meaning of the data it generates is correctly informing us about the world.

We have seen that symbolic AI tools are built to use data together with their interpretation.⁵ For this reason, their algorithms use computational languages designed to preserve semantics, i.e., to provide not only computations but also how to interpret them in agreement with the interpretation of the input data. It follows that, when the initial

information is reliable, what the AI algorithm processes (a statistic, an observation, a deduction) is equally reliable, and the decisions it makes are optimal relative to the available knowledge.

Conversely, data-driven AI tools are designed to process data without focusing on (and sometimes intentionally ignoring) contextual information about the data or how it was collected. This choice opens up techniques of data processing that are more flexible and may follow rules and procedures which cannot be explained from a cognitive perspective. On the one hand, we should clarify that the choice of focusing on pairs of data-meaning or on 'naked' data is not so crisp. On the other, moving away from semantics can be justified when there is a careful selection of the data to use as input (or when data is only partially available or data distribution, a statistical property, needs to be exploited). Suppose the road sensor was activated 5 times yesterday and 15 times today. The data-driven AI tool receives the figures (5 and 15), calculates the average (10), and delivers the following response: the average of the provided data is 10. This number is not connected to anything in the real world; from the tool's perspective, it could pertain to cars, thunderstorms, or football matches. It is crucial for us to comprehend what the response relates to by analysing the supplied data. The symbolic AI tool receives the data (5 and 15 along with

their descriptions), calculates the average value (10), and delivers the following response: the sensor indicates an average of 10 daily vehicle crossings (or, there are an average of 10 daily sensor activations). Both tools gather the same data from the sensor: the first treats them as standalone numbers, while the second interprets them as statements about a specific part of the world. In the latter case, it is the presence of the label, utilised by the symbolic tool, that enables the number to be understood as a statement regarding vehicle crossings (or sensor activations) over a specified period of time.⁶ Instead, in the first case it is the knowledge of the AI user, not provided to the AI tool, that enables to relate the output number to vehicle crossing.

Today, we utilise many dynamic and complex systems to manage urban traffic, telecommunications, and more. These systems can change rapidly and generate substantial amounts of data. The symbolic approach is complicated to develop and may lack the flexibility needed to handle highly dynamic systems. For this reason, together with computational, technological, and economic factors, the data-driven approach is, in certain cases, the only viable option at our disposal. There are situations, such as image classification and hand-written text processing, where AI symbolic tools do not even provide possible alternatives. For this reason today research aims to integrate

these two approaches as much as possible to maximise their potential. The tools created in this manner are referred to as *hybrid systems*.

3. Data, AI and the World

Let us return to our theme: the relationship between AI and the external world. Every AI tool provides a solution to a specific problem by processing the data it is given. To greatly simplify, these data may have been collected over the years and kept in databases (e.g., a digital library of written books or a record of meteorological observations), supplied continuously by sensors distributed throughout the environment (e.g., the data coming in everyday from meteorological or traffic sensors), or directly inputted by users through tools such as computer keyboards or mobile phones.

We have observed that these data can be either labelled or unlabelled. If labelled, we must ensure that this classification is done correctly. If not—as occasionally we cannot label all the data or it may be too costly or complicated—we need to ensure that the data are suitable for the AI tool with which we intend to process them. Without this, the AI tool's output might be incorrect; that is, not a solution to the problem we are addressing. Essentially, regardless of whether the data are labelled, it is up to the user of the AI tool to decide whether to use the results based on the reliability of the initial data. Even if

we are confident that the tool has processed the data impeccably (and in some cases, we can demonstrate this), it remains the user's responsibility to ascertain, at least in principle, whether the obtained results are appropriate. This holds true whether the data are collected in databases or generated at run-time by sensors or other input devices. When dealing with dynamic and complex systems, we must ensure that these systems are reliable. Similarly, when the data that these systems use are intricate and complex, we must guarantee the data reliability. But how can one ensure the reliability of data?

4. Applied Ontology for AI

Let us begin by acknowledging that the introduction of sensors and the accumulation of data are a means to transform the world, to change it from a physical complex system to a cyber-physical complex system, and from the environment in which we live to the environment as we conceive it. This change in complexity is a natural consequence of augmenting the world with sensors: by adding data-generators to the world, we build an information layer over it which becomes part of the world we live in, by using this information in dealing with the world, we turn the latter into a cyber-physical system and, finally, by choosing which sensors to use and where to put them, we put at the center not the world as it is but our conceptualisation of it. In other

words, of the world we get what we wish to understand and what we choose to look at.

The choice of what to measure, of which sensors to use, of the locations where to put them, and of how to collect measurements influence our knowledge of the world and the meaning of the data. Data do not exist independently of us; they are by all means the result of our decisions and our capabilities to perceive, interpret and modify the world. For this reason, we can assert that to comprehend the data, we must first comprehend the conceptual schemata that guide our understanding of the world. In other words, we need to uncover the conceptual schemata employed when deciding what to measure, which devices to use, where to position them and so on.

We provide data to our AI tools because we believe that these data accurately reflect the world in the aspects that interest us. Thus, we consider some data reliable because, and only as long as, they align with our perception of how the world is. However, we must not forget that data result from a relationship between a device (the sensor) and a part of the world with which the device interacts. This relationship is likely more complex than we might have imagined with our conceptual schemata since, as mentioned, every schema is a simplification. Consequently, when systems and data become intricate and complex, it becomes challenging to understand them for what they actually

are. Yet, we need to use them for what they are in order to give reliable input to our AI tools. In recent decades, part of the scientific community has sought solutions to this problem by examining data not as objects to be processed but as narratives about the world to be comprehended. This goal has prompted the integration of scientific methodologies and philosophical analyses giving rise to a unified research area known as *applied ontology*. Today, applied ontology systems, such as DOLCE [Borgo et al., 2022], are international standards⁷ and serve as conceptual tools for a cohesive and integrated analysis of: our understanding of the world, the meanings we ascribe to the data we generate, and how we organise all this information. In this way, it has become clear that enhancing our conceptual schemata contributes to the development of more reliable AI tools and ensures their proper use. Applied ontology also enhances the semantic and cognitive transparency of information science, and helps to make systems comprehensible and accessible to our analyses. The increasing interest in this type of research within the AI community bear witness to an important step towards constructing increasingly reliable tools and utilising them to their fullest potential. The importance of semantics can be expressed as a maxim that rephrases José Saramago writing: “Data, while being what they seem to us, never cease to be what they are...”⁸

We have observed that data form a specific type of thing (or, better, statement), and that data serve to fuel AI tools. We have emphasised the importance of not only using data for our intended purposes but also of deeply understanding their meaning if we aim to use them correctly. This last point is particularly relevant when we intend to use AI tools to manage the environments we have built for ourselves and in which we spend most of our private and social lives.

5. The Abundance of Objects in the City

In modern cities there are many sources of data, from cartographic maps to interactive panoramas (e.g. Google Street View), from distributed sensors measuring flows of air, water and traffic to participatory GIS. We have learned earlier that all these data are collected by detecting devices which are built with some vision about how the world works and what we want to know about it. These visions do not need to be mutually coherent due to the variability of purposes, and are likely not compatible: some data are collected in discrete time (some at low frequency, others at high frequency), others in continuous time; some data are about a service as a structured object (e.g., the company's commitment to provide fresh water), others about the same service as a processual entity (activities like pumping and pressure control performed to deliver fresh water). Furthermore, the material level is only

one side of the coin; ignoring the cognitive and the social levels would jeopardise our capacity to interact and coordinate with our world.

Consider, for example, an area for transportation services, a building present in any city and that we generically call a station. It is certainly a material entity composed of walls, openings, empty spaces and other elements aimed to make waiting comfortable and to share information about how the services work. Being a functional entity with a specific purpose, it is based on a design which was realized purposefully, that is, it is an artefact. Such artefact is justified by what is planned to happen there, which reminds us that it is also a location, a place to go, possibly stay for some time and to leave. This means that it is a kind of container as well as an orientation point. All this makes it a social entity which must be recognisable as such, and an institution that requires personnel, roles, duties and regulations.

Clearly a station is not a special case, our analysis applies to practically everything in our complex cities. One starts from the obvious and apparently inconsequential recognition of something in the city, and quickly ends up in a large network of interconnected things and concepts. Some of these are basic, like an amount of matter or an object. Others are complex to define, e.g., design, location, layout, structure, container, artefact, landmark, institution, organisation, and so on.

Fortunately, we can turn to applied ontology to put order into this messy list of heterogeneous, yet interconnected, things: design is a concept, location is a portion of space, layout is a distribution of matter, structure is a relation across components, container is a functional object, artefact is an intentional object, landmark is a role, institution is a social entity and so is organisation.

Given that our cities are so rich in terms of what is there, we need to ask ourselves whether we take into account what the data we collect really talk about: Are we making clear which entities the data inform us about? Do we disentangle the data we collect in relation to the networks of entities that populate our world? With some embarrassment we must recognise that the standard developer of AI tools does not even think about the complexity of our world. And the standard user of AI tools follows suit. This should not come as a surprise since these people have important technical skills but have not been trained to analyse the subtleties of our world: they have learned to build decision-making systems, or to apply them. The most we can hope today is that in deploying their tools they take an engineering attitude: once a solution is suggested by whatever AI system they apply, that solution is suitably tested before being implemented in systems as complex as our cities.

The lack of attention to the relationships among our world, the data we collect and the powerful

AI technology we have access to, leaves us vulnerable to misunderstanding the data and to misusing AI technology, and with that come upsetting disappointments, unexpected failures and even dangerous scenarios. It is a call to rethink what data really tell us and how to use them.

6. Toward Ontology-Aware AI for Urban Environments and Planning

In light of what we have discussed so far, it becomes apparent that the abundance of data in urban environments, while seemingly a resource, can become a liability if not adequately framed within coherent conceptual structures. As has been highlighted by recent interdisciplinary research, AI systems designed for complex settings such as urban planning require not only access to vast datasets but also the ability to discern and formalise the relational structures between physical, functional, institutional, and perceptual aspects of the city (Stufano Melone et al., 2024). Urban planning is inherently a cognitive negotiation among multiple agents, where each stakeholder contributes with different values, constraints, and expectations. Traditional decision-making frameworks often rely on creative synthesis to resolve competing demands. However, when these human-centred processes meet data-driven AI systems, there is a risk of reducing the richness of urban knowledge to flattened abstractions (Zins, 2007; Romele, 2023), a

concern repeatedly echoed in participatory urban design discourse.

In recent years, scholars have begun advocating for ontology-based AI systems that can support interdisciplinary planning tasks (Borgo et al., 2021). These systems act as mediators between raw data, human interpretation, and contextual knowledge. The aim is to go beyond simple numerical optimisation or predictive modelling and instead support the interpretive and dialogic nature of urban planning, especially in its “last mile”: the stage where divergent citizen needs must be synthesised into actionable interventions.

For instance, participatory scenarios, such as determining where to plant urban greenery, involve not just ecological or infrastructural parameters, but also aesthetic, functional, and emotional constraints. Some residents may prefer trees near their homes, while others may value open parking, and still others may desire central green plazas. Here, traditional data-driven AI falls short. Only by embedding ontological reasoning – that is, representing and reasoning over what a “tree”, “parking”, or “plaza” means in a social, spatial, and temporal context – can AI tools genuinely assist in this complexity (Mattern, 2021).

This calls for a fundamental paradigm shift: moving away from viewing AI merely as a solution engine and instead treating it as an epistemic collaborator. Such a collaborator must be capable of distinguishing between

binding constraints—such as legal zoning rules—and negotiable preferences, like the color of urban furniture. Hybrid frameworks, which integrate symbolic reasoning with data-driven inference, are increasingly being explored in decision-support applications (Calegari et al., 2020). These approaches offer a promising path toward developing explainable and socially grounded urban intelligence.

Yet, these efforts remain in their infancy, and the full potential of ontology-based modeling is still not well understood. To appreciate how ontological modeling enhances AI capabilities, consider the new types of questions these systems enable us to address. Because ontological models explicitly represent the entities, their relationships, and their behaviors within a given scenario, they allow for much richer analyses than traditional approaches. For example, when examining a city's traffic system, ontology-based models move beyond simple forecasting and balancing of input/output parameters, such as vehicle flows, parking occupancy, and pollution levels at key locations. Instead, they enable us to ask and investigate more nuanced questions and interconnected issues:

- How might traffic patterns shift in response to ongoing or scheduled cultural and social activities? (This could involve cross-referencing traffic data with information from cultural mailing lists, library departments, and local associations.)

- Are the health and security services in a given area sufficient, given the change in traffic, number of people gathering and the nature of activities in those locations? (This requires matching facility capacities with the expected behaviors of different population groups, like teenagers, families, sports fans, etc.)
- How might changes in weather forecasts alter public behavior, potentially overloading or even overwhelming urban services in the area?
- What are the possible actions that can be taken to maintain the quality of life level in the area and which stakeholders should coordinate to minimise the problems?

By enabling such inquiries, ontology-based models open up new possibilities for understanding and managing the complex, interconnected dynamics of urban life.

Ultimately, what emerges is the need for ontological models and interdisciplinary workflows, designed not merely to process data but to reflect the conceptual richness of the environments we inhabit and shape. In this sense, applied ontology is not a luxury—it is the responsible foundation on which to build trustworthy and meaningful AI systems for our cities.

7. Complexity, Reflexivity, and the Epistemic Turn in AI Urban Planning

Reframing AI's role in the city requires engaging with a broader epistemological shift, one that acknowledges the complexity

and indeterminacy of urban systems. Drawing on the complexity theory of cities, authors such as Batty (2007; 2013), Portugali (2021), and Bettencourt (2014) have demonstrated that cities are not static, linear constructs, but rather adaptive, emergent systems governed by feedback loops, nonlinearity, and path dependency. In such contexts, the governance of urban processes cannot be reduced to control mechanisms or closed models; it must instead embrace uncertainty and multiplicity.

In this light, urban AI cannot be a decision-making mechanism or an actuator of automated decisions as we see it today. Instead, it should develop to become a co-participant in a distributed and evolving epistemic ecosystem. This aligns with the conceptual innovations introduced by Federico Cugurullo, who identifies the emergence of AI Urbanism as a radical departure from conventional smart city paradigms (Cugurullo et al., 2024). While the smart city focuses on automating optimisation through data collection and automation, AI urbanism highlights the multiple effects of emerging AI systems with increasing autonomy, capable of influencing governance, infrastructures, and urban imaginaries. Rather than replacing human decision-making, these systems should reconfigure the conditions under which decisions are made, mediating between data, knowledge, and collective negotiation.

This shift has profound ontological and political implications. In his critique of Frankenstein Urbanism, Cugurullo (2021) warns against constructing cities from disjointed technological modules without a coherent ontological framework. The outcome is a fragmented and dysfunctional urban environment, technically efficient but socially disjointed. More recently, in his analysis of AI ideology, Cugurullo (2025) demonstrates how AI systems embody implicit ideological logics, converting political and ethical issues into algorithmic decisions. Within this context, AI becomes not just a tool but an ideological actor—an entity that determines what is visible, what can be governed, and ultimately, what is *real*.

Such critiques align with rising concerns about algorithmic bias, opacity, and accountability (O'Neil, 2016). Predictive policing, smart zoning, and resource allocation algorithms often embed and replicate structural inequalities, resulting in urban futures that are less diverse and more deterministic. Without reflexive design and transparent ontology management, AI can unintentionally diminish the epistemic diversity essential for fair and inclusive urban planning.

In response, recent research promotes ontology-aware and co-constructed AI systems models that incorporate normative and symbolic knowledge and

are developed through interdisciplinary and participatory approaches. These systems can support pluralistic reasoning, accommodate conflicting worldviews, and enhance explainability, particularly in value-laden decision-making contexts (Calegari et al., 2020). Rather than reducing complexity, these models aim to navigate it, allowing the city to remain a space of negotiation, emergence, and collective imagination.

8. Conclusions

This article has addressed the profound ontological and epistemological challenges that arise when artificial intelligence engages with the urban domain. By revisiting the distinction between symbolic and data-driven AI, we have highlighted how the meaning and reliability of data cannot be taken for granted but must be grounded in conceptual frameworks that reflect the complexity of cities as socio-technical systems. Applied ontology emerges as a powerful tool to bridge raw data and urban knowledge, transforming sensors and databases into genuine sources of information, and thus enabling AI to act as an epistemic collaborator rather than a mere computational engine.

In doing so, we have finally situated the debate within the broader perspective of complexity theory, where urban systems are viewed as adaptive and emergent, requiring tools capable of navigating uncertainty and multiplicity.

Within this horizon, the emergence of urban AI, as theorised by scholars such as Batty and Cugurullo, signals not only a technical shift but also an ontological and political one, where AI acts as a co-producer of urban reality. Such a shift demands awareness of the risks associated with algorithmic reductionism and ideological embedding, but also opens up possibilities for more reflexive, participatory, and ontology-aware approaches to urban planning.

In this sense, the contribution offered here aligns with the aims of this special issue *PlanAIr* (which stand for “Planning and Artificial Intelligence in Urban Research”) and the debate on urbanism and AI. We frame AI not only as a set of optimisation tools but as a conceptual and practical challenge for urban studies, planning, and design. By foregrounding ontologies as mediators between data, human interpretation, and collective negotiation, the article highlights how urban AI can be mobilised to support more transparent, plural, and democratic forms of urban governance. Far from considering AI as a dystopian threat or utopian solution, we argue for a pragmatic and critical perspective in which artificial intelligence and applied ontology become an integral part of the epistemic turn in urbanism, capable of enhancing our collective capacity to imagine and shape future cities.

Notes

¹ This paper expands the work in "I dati, pur essendo quello che ci sembrano, non cessano mai di essere quello che sono", by S. Borgo, published in "Dialoghi sull'intelligenza Artificiale" Atti dei Seminari del CNR-IRISS, CNR Edizioni 2025, a cura di N. Rampazzo, ISBN: 978-88-8080-766-7.

² <https://chatgpt.com/>

³ <https://www.deepseek.com/>

⁴ The distinction is important but one should not think that there is homogeneity within either of them. For instance, the recent development of AI based on LLMs, called Generative AI, is one approach within the large family of sub-symbolic AI.

⁵ What is meaning and how to distinguish data, information and knowledge are complex issue, even the use of the terminology can be confusing (Zins, 2007).

⁶ Exploiting even small parts of the meaning of data can have an important impact on AI systems (e.g., see <https://www.technologyreview.com/2024/09/25/1104465/a-tiny-new-open-source-ai-model-performs-as-well-as-powerful-big-ones>)

⁷ <https://www.iso.org/standard/78927.html>

⁸ The original sentence dates 15 August 1998 and states: "(T)hings, while being what they seem to us, never cease to be what they are..." (Saramago, 2018, translated by the authors).

References

- Batty, M. (2007). *Cities and complexity: understanding cities with cellular automata, agent-based models, and fractals*. The MIT Press.
- Batty, M. (2013). *The new science of cities*. MIT Press.
- Bettencourt, L. M. (2014). *The uses of big data in cities*. Big data, 2(1), 12-22.
- Borgo, S., Borri, D., Camarda, D., & Stufano Melone, M. R. (2021). An ontological analysis of cities, smart cities and their components. In *Technology and the City: Towards a Philosophy of Urban Technologies* (pp. 365-387). Cham: Springer International Publishing.
- Borgo, S., Ferrario, R., Gangemi, A., Guarino, N., Masolo, C., Porello, D., Sanfilippo, E. M., & Vieu, L. (2022). DOLCE: A descriptive ontology for linguistic and cognitive engineering. *Applied Ontology*, 17(1):45-69.
- Calegari, R., Ciatto, G., & A. Omicini (2020). On the integration of symbolic and sub-symbolic techniques for xai: A survey. *Intelligenza Artificiale*, 14(1):7-32.
- Cugurullo, F. (2021). "Frankenstein Urbanism: Artificial intelligence and the city", in Marvin, S., Luque-Ayala, A., and McFarlane, C. (eds), *Smart Urbanism: Utopian Vision or False Dawn?*, Routledge, London, pp. 200-215
- Cugurullo, F., Caprotti, F., Cook, M., Karvonen, A., McGuirk, P., & Marvin, S. (2024). The rise of AI urbanism in post-smart cities: A critical commentary on urban artificial intelligence. *Urban studies*, 61(6), 1168-1182.
- Cugurullo, F. (2025). The obscure politics of artificial intelligence: A Marxian socio-technical critique of the AI alignment problem thesis. *AI and Ethics*, 5(2), 1189-1201.
- Mattern, S. (2021). *A City is Not a Computer: Other Urban Intelligences*. Princeton, NJ: Princeton University Press.
- O'Neil, C. (2017). *Weapons of math destruction: How big data increases inequality and threatens democracy*. Broadway Books.
- Portugali, J. (Ed.). (2021). *Handbook on cities and complexity*. Edward Elgar Publishing.
- Romele, A. The datafication of the worldview. *AI & SOCIETY*, 38:2197-2206, 2023.
- Saramago, J. (2018). *Último Caderno de Lanzarote. O diário do ano do Nobel*. Ed. Porto Editora, pp. 272. ISBN: 978-972-0-03128-0
- Stufano Melone, M. R., Borgo, S., & Camarda, D. (2024, July). City Interactions in Urban Planning: The Square Example from an Ontological Analysis Point of View. In *International Conference on Computational Science and Its Applications* (pp. 448-455). Cham: Springer Nature Switzerland.
- Romele, A. (2023). *Digital habitus: a critique of the imaginaries of artificial intelligence*. Routledge.
- Zins, C. (2007). Conceptual approaches for defining data, information, and knowledge. *Journal of the American society for information science and technology*, 58(4), 479-493.

Marshall McLuhan e l'intelligenza artificiale urbana

Marshall McLuhan
and Urban Artificial
Intelligence

Luca Gaeta

Dipartimento di Architettura e Studi Urbani,
Politecnico di Milano
luca.gaeta@polimi.it
orcid.org/0000-0002-0440-5270

Received: September 2025 / Accepted: December 2025 | © 2025 Author(s).
This article is published with Creative Commons license CC BY-SA 4.0 Firenze
University Press.
DOI: 10.36253/contest-16736

keywords

artificial intelligence
collective intelligence
McLuhan
media theory

La città e gli effetti dei media

L'intelligenza artificiale urbana, comunque la si voglia vedere, è un risultato della tecnologia digitale. La fonte da cui scaturisce è il variegato intreccio di sviluppi tecnologici, abitudini comunicative e dati immateriali che fanno perno su ambienti urbani altamente interconnessi. Questo articolo propone una chiave di lettura dell'intelligenza artificiale urbana basata sul concetto di media e, più nello specifico, sulla teoria dei media di Marshall McLuhan. Nella seconda parte del Novecento, lo studioso canadese ha condotto un'intensa esplorazione degli effetti dovuti all'uso dei mezzi di comunicazione di massa, dalla stampa a caratteri mobili fino ai satelliti per telecomunicazioni.

Scomparso all'alba del digitale, egli è stato nondimeno capace di intuizioni lungimiranti, che ancora oggi meritano attenta riflessione, sul rapporto tra media, città e intelligenza umana. Da indagatore appassionato degli effetti dei media, nel loro connubio con la percezione sensoriale, egli era allarmato tuttavia dall'incapacità delle società occidentali di esercitare un controllo deliberato sul potere formativo dei media elettronici. A distanza di decenni dal suo monito,

This article offers an interpretation of urban artificial intelligence based on the concept of media and more specifically on Marshall McLuhan's media theory. The Canadian scholar's legacy, imbued as it is with humanistic values, can inform an understanding of current intelligent media that overcomes the efficiency-focused discourses on the smart city. The article also argues that choosing between artificial and collective intelligence is unnecessary since the term 'collective' can be given a wider meaning, so as to encompass, beyond humans, sociotechnical communication systems.

siamo quantomai alle prese con l'esigenza di comprendere i media digitali per garantire che lo sviluppo dell'intelligenza artificiale generativa sia rispettoso della nostra umanità, sempre più somigliante a un organismo cibernetico (Haraway, 1995). L'eredità di McLuhan, proprio per il suo respiro umanistico, può guidare verso una comprensione degli attuali media intelligenti che superi il paradigma efficientista dei discorsi sulla città digitale (Courmont, Le Galès, 2019).

Nei limiti ridotti di questo articolo è comunque possibile impostare una ricognizione del modo in cui il grande studioso canadese associa le sorti della città allo sviluppo di una tecnologia informatica che, nel suo idioma, estende il sistema nervoso centrale in un abbraccio planetario. La fonte principale per questa ricognizione è *Understanding Media: The Extensions of Man*, pubblicato nel 1964 e acclamato tra i testi fondativi della mediologia (Giovannetti, Miconi, 2025).

Com'è risaputo, McLuhan sostiene che ogni mezzo di comunicazione opera una estensione sensoriale e impone, a chi ne faccia uso, determinati presupposti cognitivi. L'uso di strumenti che estendono la percezione sensoriale non ha l'effetto di amplificare le impressioni che riceviamo dal mondo esterno, come nel caso delle lenti che si usano per correggere la miopia. Il medium plasma il mondo sensibile secondo la tendenza (*bias*) di cui è portatore. L'uso generalizzato dei media causa una se-

rie di effetti psicosociali per lo più inavvertiti, a partire dalla concezione dello spazio propria di una certa epoca. Senza entrare in maggiori dettagli, per i quali rinvio alle brillanti sintesi di Cavell (2002) e Marchand (1998), mi soffermo su un aspetto trascurato. Il concetto di medium proposto da McLuhan comprende la città. Ciò lo si evince dai molti riferimenti alla città antica e moderna presenti in quasi tutti i capitoli di *Understanding Media*¹. Vi si legge, per esempio, che "Lewis Mumford, in his *The City in History*, considers the walled city itself an extension of our skins, as much as housing and clothing" (UM, p. 47). Se, infatti, gli indumenti e le abitazioni estendono il corpo per scopi protettivi, "cities are an even further extension of bodily organs to accommodate the needs of large groups" (UM, p. 123). La città rientra nel concetto di media perché estende e specializza le funzioni sociali - sia quelle manuali sia quelle intellettuali - come i mezzi di comunicazione estendono e specializzano i sensi e gli arti degli esseri umani. McLuhan non esita nell'applicare alla città la sua celebre distinzione tra media caldi e freddi allorché attribuisce a Mumford la predilezione per "the cool or casually structured towns over the hot and intensely filled-in cities" (UM, p. 29). In questo modo il concetto di medium si dilata fino a comprendere virtualmente tutti gli artefatti tecnologici, dai più semplici ai più complessi.

L'interpretazione della città come medium conserva il suo valore fino all'epoca industria-

le con i suoi media meccanici e analogici - dai quotidiani alla fotografia, dal telefono al cinematografo - ma inizia a diventare problematica per McLuhan con il passaggio dalla tecnologia meccanica a quella elettrica. I media elettrici, infatti, introducono "a dynamic by which all previous technologies [...] - all such extensions of our bodies, including cities - will be translated into information systems" (UM, p. 57). Con la tecnologia elettrica le città entrano in un vortice che muta radicalmente il loro significato per la specie umana. McLuhan avanza a questo proposito la celebre idea del villaggio globale, elaborata al termine degli anni '50. In *Understanding Media*, egli sostiene che "after more than a century of electric technology, we have extended our central nervous system in a global embrace, abolishing both space and time as far as our planet is concerned" (UM, p. 3). Queste parole coraggiose fanno da preludio alla relazione tra città e intelligenza artificiale che s'intende proporre in questo articolo.

Il villaggio globale è la metafora di un mondo connesso da una comunicazione istantanea e incessante, che coinvolge emotivamente gli individui in eventi remoti nello spazio e nel tempo. Con esso, la città perde la sua storica prerogativa di luogo cosmopolita. Questo carattere si diffonde lungo le autostrade, nei sobborghi residenziali, in remote aree rurali, dovunque i media portino il loro flusso comunicativo. Così va compreso McLuhan quando dichiara che "the city no longer exists, except as a cultural

ghost for tourists" (Stearn, 1967, p. 116). Egli si trova in sintonia con le intuizioni di Henri Lefebvre (1970) che, nella stessa epoca, vede profilarsi all'orizzonte la completa urbanizzazione della società e osserva i frammenti di un'urbanità esplosa, proiettati nella campagna francese, fare della vita rurale e della cultura contadina una reliquia del passato. La completa urbanizzazione della società ridefinisce ambo i poli della relazione tra città e campagna. La città continua ad esistere nelle sue strutture materiali, mentre il valore civilizzatore che essa ha avuto per millenni si trasferisce in una dimensione planetaria inedita e piena di incognite.

Eterodossi, osteggiati negli ambienti accademici, versatili nei loro metodi d'indagine, questi pensatori dello spazio planetario dimostrano per la città un atteggiamento ambivalente. Da un lato presagiscono come ineluttabile una profonda trasmutazione del fenomeno urbano. Dall'altro sono reminiscenti del passato precapitalistico, al quale attribuiscono un valore umanistico da recuperare in forme rinnovate. McLuhan riceve presumibilmente questo input dalla lettura giovanile di Mumford che, in *The Culture of Cities*, inscena un racconto di ascesa, caduta e redenzione della città occidentale. Mumford elogia la cultura urbana comunitaria dell'Europa medievale per il suo umanesimo integrale, corrotto prima dal centralismo barocco e distrutto poi dal meccanicismo capitalista, ma predice il superamento della metropoli disumana grazie alla pianificazione regionale,

traendo vantaggio dalla spinta dell'energia elettrica al decentramento. McLuhan riceve così da Mumford, almeno in parte, l'eredità intellettuale del biologo e pianificatore scozzese Patrick Geddes, alfiere di un urbanesimo in equilibrio evolutivo tra cultura e ambiente naturale. L'influsso di Geddes è stato rafforzato in seguito dalla lunga amicizia tra McLuhan e l'urbanista britannica Jacqueline Tyrwhitt, assistente di Sigfried Giedion (Shoshkes, 2013), il cui ruolo cruciale nel connettere studi urbani e teoria dei media merita maggiore attenzione di quella ricevuta finora (Darroch, 2008). Il rapporto con Mumford non si è invece sviluppato per la divergenza tra i due studiosi sulla tendenza della tecnologia elettronica a centralizzare o decentrare il potere politico-economico (De Bonis, Simoncini, 2022).

Malgrado il tono perentorio delle dichiarazioni sulla obsolescenza della città, McLuhan ha continuato a vivere a Toronto con la sua famiglia. Nel 1970 si è alleato con Jane Jacobs per bloccare il progetto di un'autostrada urbana che avrebbe deturpato l'amato distretto residenziale di Wychwood Park. Per capire il suo persistente attaccamento all'idea di città bisogna dunque porre attenzione all'estensione elettronica del sistema nervoso centrale, facendo un passo in direzione dell'intelligenza artificiale.

L'estensione globale del sistema nervoso

McLuhan si considera erede di una tradizione

che risale al tomismo, e prima ancora all'aristotelismo, secondo cui la conoscenza deriva dai sensi. Ciò motiva la sua grande attenzione per l'effetto dei media sulla percezione sensoriale. Dalla stessa tradizione egli ricava la nozione di 'senso comune', la facoltà che unifica le percezioni dei cinque sensi. La sinestesia è per lui un valore prezioso per la conoscenza del mondo, un valore messo a repentaglio dall'estensione mediatica di un senso a discapito degli altri. Se in epoca moderna l'effetto dei media meccanici aveva esteso la visione, facendo di essa un modello epistemologico e artistico (McLuhan, 1962), i media elettrici riportano in auge l'oralità e l'immediato coinvolgimento nel corso degli eventi. McLuhan intuisce però un effetto ulteriore, attribuito ai media di ultima generazione - satelliti e calcolatori elettronici -, che chiama 'estensione del sistema nervoso centrale'. La tecnologia elettronica promette di estendere qualcosa di più della percezione sensoriale, cioè la coscienza e l'intelligenza umana. Portate all'esterno del corpo, queste ultime si estendono e si potenziano in apparecchi e circuiti elettronici capaci di comunicare tra loro senza limitazioni di spazio e di tempo. All'implosione del globo in un villaggio si accompagna una smisurata coscienza cosmica di natura cibernetica che pone fine all'antitesi tra meccanicismo e organicismo, secondo una linea di pensiero coltivata, tra gli altri, da Norbert Wiener (1948).

La contemplazione di una ecologia mediatica

allo stato nascente suscita in McLuhan interrogativi sul futuro della specie umana ai quali egli risponde appellandosi alla città. Scrive infatti:

If the work of the city is the remaking or translating of man into a more suitable form than his nomadic ancestors achieved, then might not our current translation of our entire lives into the spiritual form of information seem to make of the entire globe, and of the human family, a single consciousness? (UM, p. 61).

L'effetto dei media elettronici potrebbe, cioè, suscitare una comunione intellettuale il cui paragone più vicino è la noosfera concepita dal gesuita Teilhard de Chardin. La particolarità risiede nel fatto che McLuhan attribuisce alla città la missione di garantire il raggiungimento di un traguardo niente affatto scontato: l'uso consapevole della nuovissima tecnologia comunicativa per unire l'umanità in un corpo mistico.

Jaqueline McLeod Rogers (2021) mette in evidenza brani, di non semplice lettura, nei quali McLuhan sembra prefigurare un uso cosciente e programmato di ambienti urbani quasi del tutto smaterializzati per agevolare la simbiosi tra esseri umani e media elettronici. Il compito fondamentale della città però sta nel ripristinare il senso comune, smarrito a causa dell'estensione elettronica dei sensi e del sistema nervoso centrale. Così si esprime McLuhan in una lettera del 1960 indirizzata a Tyrwhitt:

Prior to electricity, the city was the sensus communis for such specialized and externalized senses as technology had developed. [...] Today with electronics we have discovered that we live in a global village, and the job is to create a global city, as center for the village margins. [...] With electronics any marginal area can become center and marginal experiences can be had at any center. Perhaps the city needed to coordinate and concert the distracted sense programs of our global village will have to be built by computers in the way in which a big airport has to coordinate multiple flights (Molinari et al., 1987, 277-8).

Il futuro urbano che McLuhan congettura per l'era elettronica è quello di un ambiente progettato per fungere da senso comune extracorporeo, capace cioè di unificare percezioni umane dilatate oltre ogni immaginazione da sensori artificiali, schermi e altoparlanti.

Un simile sistema urbano non può essere altro che in costante divenire, mobile e reattivo agli stimoli ambientali come quelli preconizzati da Richard Buckminster Fuller. I due si sono conosciuti a Delos in occasione del simposio promosso da Konstantinos Doxiadis nel 1963, con il fondamentale supporto di Tyrwhitt, per dibattere sulla crisi degli insediamenti umani in dieci giorni di navigazione sull'Egeo. McLuhan partecipa a diverse edizioni dei *simposia* di Delos negli anni successivi. Nel 1972, stupisce non poco i suoi interlocutori sostenendo che

l'*Ulisse* di Joyce è "the greatest piece of city planning and building in this century" (cit. in Wigley, 2001, p. 113). Le affermazioni tra il serio e il faceto sono tipiche del suo stile espressivo. Questa in particolare si fonda sulla convinzione che gli artisti sappiano riconoscere per primi gli effetti sensoriali dei nuovi media. L'arte, asserisce McLuhan, "is precise advance knowledge of how to cope with the psychic and social consequences of the next technology" (UM, p. 66). Per questa via si può paragonarla a una pratica di pianificazione con mezzi estetici. Joyce esibisce la dissociazione mentale del protagonista di *Ulisse* in una Dublino disgregata, riconoscendo la sinergia tra gli effetti psichici e urbani dei media. Verso una tale sinergia McLuhan è stato attirato in primo luogo dalla lettura della poesia modernista di Thomas Eliot, ma cruciale è stata la sua prima esperienza di insegnamento della letteratura inglese in un college statunitense. Il confronto con quegli studenti lo pone dinanzi a una cesura insanabile tra cultura alta e cultura popolare. I giovani ricevono il proprio sapere per le strade della città - tra fumetti, cinematografici e cartelloni pubblicitari - più che nelle aule scolastiche. L'interesse per lo studio dei media nasce dunque dalla necessità pedagogica di trasmettere la cultura con strumenti adeguati ai tempi. Parecchi anni dopo quel momento di sconcerto, McLuhan ha messo a punto con suo figlio Eric e Kathryn Hutcheon un progetto didattico basato sul rapporto tra città e me-

dia elettrici. Il progetto propone agli studenti delle scuole superiori una serie di esercitazioni da svolgere in piccoli gruppi per le strade della propria città, attrezzati con registratori, fotocamere e materiali da disegno. Gli studenti sono esortati a sperimentare gli effetti che si generano quando si trasferisce un contenuto - intervista, suono, immagine - da un medium a un altro. Uno di questi esercizi invita gli studenti a progettare il piano di una città sulla base del sistema telefonico più efficiente; un altro a immaginare gli effetti urbani della completa rimozione di una data tecnologia. Il fine è addestrare i giovani a riconoscere gli effetti psicosociali dei media nel loro ambiente urbano, che è un'aula senza pareti (McLuhan *et al.*, 1977), per causarli in modo creativo anziché subirli senza esserne consapevoli.

La città è un contesto educativo della massima importanza e McLuhan crede che possa esserlo ancor più nell'epoca dei media elettronici, a condizione di non confondere la città con l'ambiente costruito. Per usare una metafora - figura retorica amata dallo studioso canadese - la città moderna sta alla città cibernetica come la città terrena sta alla città celeste di Agostino. Nato in una famiglia protestante, McLuhan si è convertito al cattolicesimo nel 1937. Nella sua opera e nelle sue dichiarazioni pubbliche egli tiene distinta la ricerca sui media dalla fede religiosa (Marchessault, 2005). Tuttavia, quest'ultima è una forza costantemente presente nella sua vita privata. Un raro

momento di evidenza pubblica della fede compare singolarmente nell'intervista rilasciata a *Playboy* che, nei tardi anni '60, era una rivista di costume rivolta al pubblico maschile. In tale occasione, ripercorrendo i temi chiave della riflessione sui media, egli afferma che il computer "holds out the promise of a technologically engendered state of universal understanding and unity, a state of absorption in the logos that could knit mankind into one family and create a perpetuity of collective harmony and peace" (Norden, 1969, p. 69). Il logos, vocabolo della tradizione filosofica e teologica, rimanda a un'intelligenza intermediaria tra l'umanità e il divino: un'intelligenza di origine tecnologica, eppure intrisa di misticismo. Lo stato di comunione psichica, reso possibile dai media elettronici, "is merely a new interpretation of the mystical body of Christ" (*ibidem*). Tuttavia, realizzare la città celeste in guisa di città cibernetica è un esito non banale. Essa andrebbe accuratamente progettata per non ridursi né a un mercato, né a una piattaforma logistica asservita agli interessi affaristici. Il capitalismo delle piattaforme digitali mostra quanto fosse fondata questa preoccupazione.

Nel suo discorso sulla città, per quanto embrionale e oscuro, McLuhan sembra farsi anticipatore degli effetti di un medium a lui sconosciuto che porta alle estreme conseguenze l'estensione della coscienza e della capacità di ragionamento, fino a dissipare la figura del soggetto autosufficiente per recuperare la fi-

gura di un *progetto* aperto alla relazione estatica con il mondo e alla comunione con i suoi simili.

Intelligenza artificiale o intelligenza collettiva?

Se la tecnologia dell'automazione, come scrive McLuhan, "ends the old dichotomies between culture and technology, between art and commerce, and between work and leisure" (UM, pp. 346-7), essa pone anche le premesse per un riassetto delle forme organizzative della città moderna determinate dal meccanicismo e dall'individualismo. Un superamento di queste dicotomie assottiglia le barriere che dividono sapere esperto e sapere comune, artista creativo e spettatori passivi, con una decisa tendenza a democratizzare la conoscenza scientifica e a livellare il rapporto tra cultura alta e cultura popolare. Oggi è facile scorgere queste tendenze all'opera nelle città contemporanee con risultati che suscitano, da un lato, apprensione per il discredito del sapere esperto presso parte della cittadinanza e, dall'altro, sorpresa per l'ingegno creativo e partecipativo delle persone nel loro uso quotidiano dei media digitali (Jenkins, 2006). L'incalcolabile produzione di dati, immagini e testi che riempie le reti digitali è opera di persone comuni mosse dagli interessi più diversi, oltre che di sensori, computer e dispositivi mobili. Questo accumulo incessante di informazione nelle reti è il giacimento sondato dai sistemi automatici di

intelligenza artificiale per simulare le capacità umane di ragionamento, apprendimento e dialogo. L'informazione generata dal funzionamento sociale esercita gli algoritmi delle intelligenze artificiali in un processo cumulativo di apprendimento per rinforzo. La presenza, sempre più diffusa nella rete, di contenuti generati da intelligenze artificiali prospetta una circolarità che potrebbe dare luogo presto a effetti di autonomia cognitiva dei sistemi informatici.

Al punto in cui siamo giunti in questo articolo si pone un interrogativo che riguarda il carattere della intelligenza artificiale urbana. McLuhan propone la città come possibile antidoto agli effetti narcotici dei media elettronici. Il crollo delle separazioni tra lavoro e tempo libero, arte e bricolage, umanesimo e tecnologia gli appare foriero di grande energia creativa libera di attingere da ogni dove, connessa a qualsiasi evento da network invisibili e istantanei, seppur restando urbana nei suoi connotati di fondo, perché l'opera della città è il rifacimento degli esseri umani in forme più evolute. L'interrogativo che si pone è se si debba discutere di intelligenza artificiale o di intelligenza collettiva. Il primo aggettivo esprime il carattere tecnologico di questa intelligenza che si contrappone al lume naturale. Il secondo aggettivo esprime il suo carattere aggregativo, plurale e dialogico. Non è necessario tagliare il nodo con la spada se diamo a 'collettivo' un significato esteso che includa, oltre agli esseri

umani, i sistemi sociotecnici di comunicazione. Questo è possibile sulla scorta di autori come Bruno Latour, Michel Serres e Bernard Stiegler che hanno pensato, ciascuno a suo modo, il rapporto costitutivo tra tecnica e antropogenesi nell'epoca digitale.

In una prospettiva fortemente antropocentrica, più simile a quella di McLuhan, si colloca Pierre Lévy, che prende partito per un progetto d'intelligenza collettiva situato nel mondo virtuale del cyberspazio. Alla metà degli anni '90, Lévy vedeva ancora aperta la possibilità di dare al web una forma governata da gruppi umani che si costituiscono in intelligenze collettive con la condivisione digitale dei saperi. Dopo essersi fondati per secoli sull'appartenenza territoriale, l'identità personale e i legami sociali potrebbero dipendere dallo scambio mutualistico di saperi e competenze con gli strumenti informatici. Per questa ragione, "la pianificazione del cyberspazio, ambiente di comunicazione e di pensiero dei gruppi umani, è uno dei principali traguardi estetici e politici del prossimo secolo" (Lévy, 1996, p. 127). L'urbano resta per Lévy saldamente agganciato allo spazio dell'economia capitalista, ma sopra di esso si staglia una "megapolis di segni, città dello spirito finalmente visibile, nella notte, sul cielo moltiplicato dagli schermi" (ivi, p. 183). La città dello spirito è per il filosofo francese il luogo elettivo delle intelligenze collettive.

Lo sviluppo della rete internet ha suscitato da subito l'impressione di una straordinaria svol-

ta epocale, paragonabile nella sua portata alla rivoluzione industriale. Come spesso accade in concomitanza dei grandi rivolgimenti scientifici e tecnologici, l'immaginazione degli studiosi interpreta il cambiamento in atto con l'ausilio di metafore spaziali. Proprio il cambiamento dello spazio raccoglie e simboleggia la generalità dilagante degli effetti causati nel mondo da innovazioni dirompenti. Harmeet Sawhney (1996, p. 293) sostiene che, malgrado sia rudimentale, l'uso di metafore spaziali "is perhaps the only conceptual tool we have for understanding the development of a new technology". Questo argomento si applica parimenti all'intelligenza artificiale entrata d'improvviso nella realtà quotidiana di miliardi di persone su tutto il pianeta. Il concetto di spazi latenti si connette al processo di addestramento delle intelligenze artificiali generative (Somai, 2025). Ma queste ultime stimolano specialmente metafore urbane per via di un nesso tra città e intelligenza forte almeno quanto quello che unisce città e politica. Il fenomeno dell'urbanizzazione planetaria (Brenner, Schmid, 2015) stringe ancor più il connubio tra media digitali e città. Per alcuni versi è inevitabile che sia così, considerando la tendenza di entrambi all'estensione planetaria condensata da McLuhan nella metafora del villaggio globale. Verso la natura artificiale dell'intelligenza automatica inclinano maggiormente gli studiosi di scienza e tecnologia che sviluppano infrastrutture e servizi per la *smart city* secondo

criteri di efficienza delle prestazioni, affidabilità ed economicità. Verso la natura collettiva dell'intelligenza inclinano, invece, gli studiosi urbani attenti alle ripercussioni sociali del progresso tecnologico secondo criteri di equità, sostenibilità e inclusione (Willis, Aurigi, 2020; Allam, Takun, 2022). Per il fine della pianificazione urbanistica entrambe queste accezioni sono rilevanti e non richiedono una scelta risolutiva, sia perché l'intelligenza artificiale, come osserva Michael Batty (2023), entra in tutte le sfaccettature della vita urbana, sia perché la pianificazione è una pratica che combina intelligenza strumentale e intelligenza politica al più alto grado.

Note

¹ Nel seguito dell'articolo, quest'opera di McLuhan è indicata per brevità con la sigla UM.

Bibliografia

- Allam Z., Takun Y.R. 2022 *Rethinking Smart Cities*, Edward Elgar Publishing, Cheltenham.
- Batty M. 2023, *The emergence and evolution of urban AI*, «AI & Society», n. 38, pp. 1045-1048.
- Brenner N., Schmid C. 2015, *Towards a new epistemology of the urban?* «City», vol. 19, n. 2-3, pp. 151-182.
- Cavell R. 2002, *McLuhan in Space: A Cultural Geography*, University of Toronto Press, Toronto.
- Courmont A., Le Galès P. (dir.) 2019, *Gouverner la ville numérique*, PUF, Paris.
- Darroch M. 2008, *Bridging Urban and Media Studies: Jacqueline Tyrwhitt and the Explorations Group, 1951-1957*, «Canadian Journal of Communication», vol. 33, n. 2, pp. 147-63.
- De Bonis L., Simoncini S. 2022, *Tra determinismo e filogenesi. Tecnologia, potere e territorio*, «Scienze del Territorio», vol. 10, n. 1, pp. 36-43.
- Giovannetti P., Miconi A. (a cura di) 2025, *Il medium oggi. Da McLuhan all'intelligenza artificiale*, Carocci, Roma.
- Haraway D.J. 1995, *Manifesto cyborg. Donne, tecnologie e biopolitiche del corpo*, Feltrinelli, Milano.
- Jenkins H. 2006, *Convergence Culture: When Old and New Media Collide*, New York University Press, New York.
- Lefebvre H. 1970, *La révolution urbaine*, Gallimard, Paris.
- Lévy P. 1996, *L'intelligenza collettiva. Per un'antropologia del cyberspazio*, Feltrinelli, Milano.
- Marchand P. 1998, *Marshall McLuhan: The Medium and the Messenger*, MIT Press, Cambridge.
- Marchessault J. 2005, *Marshall McLuhan: Cosmic Media*, Sage, London.
- McLeod Rogers J. 2021, *McLuhan's Techno-Sensorium City: Coming to Our Senses in a Programmed Environment*, Lexington Books, London.
- McLuhan M. 1962, *The Gutenberg Galaxy: The Making of Typographic Man*, University of Toronto Press, Toronto.
- McLuhan M. 1964, *Understanding Media: The Extensions of Man*, McGraw-Hill, New York.
- Norden E. 1969, *Marshall McLuhan: A candid conversation with the high priest of popcult and metaphysician of media*, «Playboy», vol. 16, n. 3, pp. 53-74.
- McLuhan M., Hutchon K., McLuhan E. 1977, *City as Classroom: Understanding Language and Media*, The Book Society of Canada, Agincourt.
- Molinari M., McLuhan C., Toye W. (eds.) 1987, *Letters of Marshall McLuhan*, Oxford University Press, Oxford.
- Mumford L. 1938, *The Culture of Cities*, Harcourt, Brace and Co., New York.
- Sawhney H. 1996, *Information Superhighway: Metaphors as Midwives*, «Media, Culture & Society», vol. 18, n. 2, pp. 291-314.
- Shoshkes E. 2013, *Jacqueline Tyrwhitt: A Transnational Life in Urban Planning and Design*, Ashgate: Farnham.
- Somaini A. (dir.) 2025, *Le monde selon l'IA. Explorer les espaces latents*, Jbe Books, Paris.
- Stearn G.E. (ed.) 1967, *McLuhan Hot & Cool: A Primer for the Understanding of and a Critical Symposium with Responses by McLuhan*, Dial Press, New York.
- Wiener N. 1948, *Cybernetics, or Control and Communication in the Animal and the Machine*, Wiley, New York.
- Wigley M. 2001, *Network Fever*, «Grey Room», n. 4, pp. 82-122.
- Willis K.S., Aurigi A. (eds.) 2020, *The Routledge Companion to Smart Cities*, Routledge, London & New York.

Jumping Off AI Anxiety and Enthusiasm Bandwagons: The Legacy of Positivism and Its Pluralist Antidotes in Planning Thought and Information Science

Giulia Guadagnoli

Dipartimento di Architettura,
Università degli Studi di Firenze
giulia.guadagnoli@unifi.it
orcid.org/0000-0002-4954-3327

Received: May 2025 / Accepted: December 2025 | © 2025 Author(s).
This article is published with Creative Commons license CC BY-SA 4.0
Firenze University Press.
DOI: 10.36253/contest-16165

keywords

positivism
pluralism
ontology
complexity
human-computer interaction

Introduction

The history of ideas and practices in any scientific domain gives way to traditions. Traditions lay the ground for new contributions developing previous ones or critically searching for alternatives. They also work as moulds for mindsets, constraining intellectual innovation (Healey, 1997), steering motives and attitudes behind perceptions and understandings of new discoveries and inventions, especially those circulating across domains. The scrutiny of traditions cultivates awareness of the chain

of inspiration informing a domain vocabularies, narratives and approaches, and the legacies shared across domains. Looking at planning traditions a couple of decades into the second millennium CE, their heterogeneity (Allmendinger, 2002) coexists with the persistence of the foundational positivist legacy in planning practice (Davoudi, 2012). This article's literature review recalls the positivist tradition of the engineering

In the last three decades, post-positivist approaches to planning theory sprung in parallel to digital applications intended as decision support systems in planning practice. Today, artificial intelligence (AI) raises expectations about the solutions to planning problems these systems may deliver. These expectations stir either anxiety or enthusiasm depending on whether one acknowledges the limitations of expert knowledge, or assumes that they rest on inadequate computing abilities. This article traces the

lineage of contemporary enthusiasm about AI in planning practice back to the legacy of positivism in planning thought. Moreover, the article addresses the anxiety by showcasing pluralist challenges to positivist legacies across planning theory and information science. In this light, the paper lays the conceptual ground for planners' engagement with scholarship akin to post-positivist perspectives in information science, to foster pluralist due diligence in the use of AI applications.

mindset in planning theory to revive its critique and compare it to the last thirty years advancements in information science. This comparison sheds light on the commonalities between intellectual traditions in these two domains. Identifying these commonalities challenges both anxious and enthusiast reactions to the adoption of information science tools in planning practice, as these reactions mutually intensify in the wake of artificial intelligence applications.

In his classic review of intellectual traditions defining the relation of knowledge to action, John Friedmann (1987) provides a comprehensive overview of two centuries of planning theory. Here, he traces the origin of planning back to the emergence of the belief that society can be improved by the guidance of scientifically based

knowledge, beginning with early positivist thought. Indeed, he wrote at the beginning of what can retrospectively be considered the spring of post-positivist (Allmendinger, 2002), interpretative or hermeneutic (Davoudi, 2012) approaches to planning. These approaches challenged positivist assumptions such as the supremacy of technocratic decision making, the objectivity of expert knowledge, and the validity of certainty. While separated for explanatory purposes, these assumptions are dependent on one another, taking certainty as a fundamental attribute of knowledge, of its objective translation into decisions, and of the linear causality between decisions and their outcomes. The corresponding post-positivist counter-assumptions rely on the endorsement, to different degrees, of three aspects of a pluralist understanding of reality. These aspects are: the necessity, or the plain fact, of distributed multi-criteria decision-making; the legitimacy of different sources and types of knowledge; and the inevitability of uncertainty. This article identifies these aspects as three dimensions of pluralism, as they altogether do away with the idea of the singularity of truth.

The above-mentioned spring season also saw the parallel development of digital modelling applications intended as decision support systems in planning practice (Geertman and Stillwell, 2004). Since their onset, support systems developed within academia and the private sector keep facing the so-called

implementation gap (Jiang et al., 2020). In fact, many public authorities, for example in the EU, lack the expertise required for the use of these systems, with few pioneer cases, such as the Amsterdam Institute for Advanced Metropolitan Solutions, proactively building partnerships across government, academia and the private sector to bridge these gaps. Yet, the development of digital decision support systems can also claim substantial achievements, first of all that of diversification including capabilities in data analytics, monitoring, scenario building and knowledge sharing. Next to data-driven applications centred on computational capabilities (Gil, 2020), other modelling applications adapted to suit different planning approaches. Significant efforts went into supporting participatory decision making and the integration of different sources of knowledge (Borri et al., 2006; Pelzer et al. 2015; Campagna, 2016). Others committed to adapting modelling techniques to shifts in system theory inspired by complexity science towards open-ended simulations (Batty, Torrens, 2001; Portugali, 2021). Moreover, looking beyond spatial planning applications, semantic cognitive approaches to information science also contributed to new breakthroughs in digital modelling (Guarino, 1998; Borgo et al. 2022). While these distinctions often go overlooked in outsiders' perceptions of digital modelling, the latest experiments in artificial

intelligence (AI) have revived expectations that information science may ultimately be trusted to deliver technocratic solutions for planning problems. These expectations stir either anxiety or enthusiasm depending on whether one endorses the post-positivist critique of the singularity of truth and the limitations of expert knowledge, or whether they assume that these limitations rest on inadequate computing abilities.

Comparing literary insights from specific sectors of planning and information science scholarships, this article challenges flattening and polarized perceptions of digital applications in planning. The methodological section explains the criteria applied in the selection of sources. Afterwards, the literature review splits in two sections, the former focused on planning and the latter on information science and digital modelling. The first section looks at positivism and post-positivism in planning thought. The second section covers two focuses among contemporary developments in the umbrella category labelled by John Friedmann (1987) as system engineering. It looks at pluralism in philosophical and semantic-cognitive approaches to information science and at uncertainty in digital modelling of urban and environmental complexity. The findings encourage like-minded scholars to join forces to foster pluralist approaches across domains. Based on the shared interests highlighted

Starter and follow up key words used in the search for references

Tab. 1

Domain	Starter key word	Follow-up key word
Planning theory	tradition, typology	positivism
Information science (philosophy, cognitive-semantic)	pluralism	ontology
Modelling urban and environmental complexity	uncertainty, prediction	open/closed systems, wholes

by the literature review, such collaboration constitutes the most appropriate response to both enthusiasms and anxieties regarding the persistence and revival of positivist planning through AI applications.

A literature review across domains

The literature review does not provide a systematic account of the ongoing debates on its topics of interest in the domains of planning and information science. It rather spots evidence of the relevance of these topics across domains, highlighting the thread or line of argument by which some authors address these topics, and tracking the matching of meanings behind terminological variety. Accordingly, the selection of sources prioritized authors whose citation rates and involvement in scholarly circles, joint events and publications suggest a fair degree of relevance in ongoing debates in each research area. Here, the prominence given to geographically and intellectually situated circles

depends on the author's participation in these circles. Moreover, the selection cumulatively integrated two criteria for both domains. The first criterion was the use of one or few related starter key words. The second criterion added sources using one or few related follow-up key words, hand-picked from the texts selected by the first criterion to root the review in the terminology in use in the referenced literature. In a few cases, additional ad hoc references provided explanatory examples, evidence of shared interests across domains and/or insights on terminological matches and mismatches. The starter and follow up search key words for each domain are presented in Table 1.

Planning, positivism and its critics

Introducing the intellectual traditions which shaped the domain of planning, John Friedmann (1987) points to the eve of the industrial revolution as the cradle of the very project of scientific planning. He stresses

Saint-Simon's (1760-1825) influence on the foundation of sociology, through his disciple Auguste Comte, and other disciplines relevant to the domain of planning. According to Friedmann, Saint-Simon's social physiology assigned to scientists and engineers the task of serving humanity with "their ability to predict the future outcomes of present actions" (ibidem, p. 52). He introduced the idea that scientific planning can guide social progress by the assumption that history is governed by objective laws, and that human freedom submits to these "immutable laws of human progress" (ibidem, p. 73). Accordingly, planning can guide social progress by observation and measurement, focusing on functional fit and efficiency as stable absolute principles. Meanwhile, politics with its volatility could be made unnecessary by the consolidation of a consensual society, according to a supposedly neutral and value free system, "supposed to be obvious and therefore reasonable to all who were properly informed" (ibidem, p. 68). Knowledge was intended as "the power of technical reason to determine what is correct" (ibidem, p.58), something which would be beyond the reach of the masses, but rather the monopoly of "initiates" (ibidem, p. 71) acting in the service of rulers. Here, the term "initiates" recalls John Stuart Mill's accusation that Comte's positivism pursued a form of spiritual domination comparable to the old religion, which Comte himself originally opposed. This

accusation exposes the positivist attitude towards a secular endorsement of the singularity of truth. According to Friedmann, these premises gave way to different intellectual traditions, upholding different interpretations of the role of science in the exercise of power in society, the organizing principle of his typology of planning theories. He visualizes these traditions chronologically as a set of parallel lines, from the most conservative to the most radical interpretation. Here, he groups thinkers across most of the set under the label of engineering sciences, defined by the trust in technical reason to determine what is correct into a single objective reality. This is the model of the *ecole polytechnique*, with its focus, as he puts with a von Hayek's quote (ibidem, p. 59), on the deliberate and conscious construction of the world. This idea of the world included both the physical and the social reality, both considered as artifacts. Yuval Portugali (2021), describing this idea of the world as mechanistic, clarifies

artifacts are 'facts of art' – products of human intention, imagination and action – whether they are artistic entities, socio-cultural organizations or machines. Modern science started with 'the world as a clockwork' – the machine as a metaphor for the natural universe at large. [...] The generality of this mechanistic world view that dominated science for more than 300 years was falsified at the beginning

of the twentieth century following Einstein's relativity, quantum theory, and, more recently, complexity theory. What was falsified was not the existence of a mechanistic domain, but its generality, namely, the view that its basic properties apply to nature, society and culture. (ivi, p. 15)

The plausibility of technical reason uncontroversially determining what is correct relied on the assumption of the singularity of truth according to this mechanistic idea of the world. This assumption trickles down into derivative assumptions attributed by Friedmann to smaller sub-sets, narrowing the focus from technical reason, to technocratic decision-making, and further to the objectivity of knowledge and to its certainty. In Friedmann's reading, the trust in truth-endowed technocratic decision making characterizes both conservative and reformist thinkers, sparing only the most radical ones. Moreover, conservative thinkers justify this trust by assuming the objectivity and political neutrality of expert knowledge and technical reason, serving the state and those who are in power. Furthermore, system engineering, placed on the conservative end of the set, including cybernetics, game theory, information theory, computer science, and robotics, adds the trust in prediction of the consequences of action in relation to desired objectives. In this regard, Friedmann also blames futurology as a sign of crisis in the social sciences, "a bogus science [where] our seeming

inability to understand the world by studying its past, [pushes to] the flight into the future" (Friedmann, 1987, p. 73).

Friedmann's typology adopted an historical and disciplinary perspective, without engaging with the categories proposed in the 1980's debate on the typology of urban planning theories (Yiftachel, 1989). Two years after the publication of Friedmann's seminal book, Oren Yiftachel reviewed the previous debate on typologies to propose a new one. This review departs from Andreas Faludi's " 'procedural' and 'substantive' planning theories, termed theories of planning and theories in planning, respectively" (ibidem, p. 24), followed by an alternative dichotomy between explanatory and prescriptive theories based on Taylor's critique of Faludi. Against this background, Yiftachel proposes his classification, which is incommensurable to Friedmann's, even though they share meaningful commonalities. These commonalities include the chronological and linear structure, though Yiftachel's starts with the XX century while Friedmann's from 1789. They also share a common focus on the dichotomy between conservative neutrality and partisan change. Yet, they place this dichotomy in different parts of their respective chronologies. For Friedmann the distinction separates different parallel traditions all along the history of planning. Yiftachel, instead, frames the distinction between "openly politicised approaches and persisting technical-

neutral orientations" (*ibidem*, p. 23) as an historical shift from the latter to the former occurring in the mid-1960s. He considers this shift as part of the paradigm breakdown which splits his chronology in a before and an after. The main reason for the incommensurability of the two typologies most probably lies in the different definitions of planning they refer to. Indeed, Yiftachel refers to urban land use planning, while Friedmann to scientific based planning, excluding "other forms of planning, such as urban design, piecemeal social reforms and administrative city planning [which...] did not yet embody a scientific practice." (Friedmann, 1987, p. 53). Regardless of these differences, Yiftachel's observation that planners portrayal "as neutral and apolitical experts" (Yiftachel, 1989, p. 36) dominated the first half of the XX century confirms the hegemony of the engineering mindset at the onset of modern spatial planning practice.

Allmendinger (2002) provides an example of the later reception of both works, reacting to Yiftachel's typology in an article about post-positivism in planning thought, where he also includes a reference to Friedmann's classification. Arguing in favor of a post-positivist typology of planning thought, he criticizes the evolutionary character of both Friedmann's and Yiftachel's chronologies for formalizing a linear progressive view of planning theory. Instead, he calls for a post-positivist typology "identifying and tracing

influences and how theories are transformed, mediated and used in a linear and non-linear way and different contexts including time and space" (Allmendinger, 2002, p. 89). He also stresses how most developments in planning theory at the time of his writing stem from a post-positivist perspective, including collaborative, neo-pragmatist and postmodern approaches to, and feminist perspectives on, planning. In this regard, he stresses: "What is important to note is not that there has been linear progress or evolution but that at different times and in different places over the past 2500 years or so the basic positions have been held simultaneously as they still are now." (Allmendinger, 2002, p. 86). Options are open, as they were in the past, for scholars and practitioners to chose. Nonetheless, positivism remains highly influential in planning practice, even though the occasional endorsement of new devices, identified by Simin Davoudi as network analysis, relational functional regions, fuzzy maps, scenario building and experiential knowledge, signals a search for alternatives by planning practitioners (Davoudi, 2012).

Indeed, the turn of the millennium brought a wide recognition of a post-positivist drive in spatial planning, even though different observers associated this drive to different examples and even to different categories of examples (Fainstein, 2000; Allmendinger, 2002; Davoudi, 2012). This literature provides a comprehensive and at times conflicting

interpretation of the different aspects marking the distinction between positivist and post-positivist planning approaches. This article focuses on aspects of positivism highlighted by Friedmann such as the trust in technocratic decision making, the objectivity of expert knowledge, and the validity of certainty, as expressions of the positivist commitment to the singularity of truth. Despite their different takes on the subject, the three above mentioned sources agree on the pluralist post-positivist shift towards what altogether they address as contingency, variance, diversity, fragmentation, multiplicity, polyvocality and pluralism (Fainstein, 2000; Allmendinger, 2002; Davoudi, 2012). Moreover, the emphasis on variance in interpretation and explanation puts in the spotlight the question of meaning (Allmendinger, 2002; Davoudi, 2012). "A post-positivist approach requires 'shifting from causal reasoning as a basis for plan-making to discovering and confirming meaning' (Moore-Milroy, 1991: 182)" (Allmendinger, 2002, p. 87). "Rather than recourse to objective evidence or reality, the emphasis in post-positivist planning is on language and 'making meaning' through language" (Allmendinger, 2002, p. 88). According to Davoudi, "meaning refers to what is consciously and individually intended as well as what is commonly and often unintentionally significant [...]. Place is defined subjectively with people living not 'in a framework of geometric relationships but a

world of meaning' (Hubbard et al., 2004, p. 5)" (2012, p. 430-432). This interpretation requires planning to acknowledge "the influence of the cognitive, social and institutional environment in which decisions, or more precisely practical judgments, are made" (Davoudi, 2012, p. 437). According to Davoudi, planning practice is far from endorsing post-positivism. She points to evidence-based planning and system thinking, echoing Friedmann's interpretation of system engineering, as pressures towards positivist technical rational approaches. She considers these pressures as heralds of a new and on the rise scientism characterized by "over-emphasis on rationality and objectivity, and the over-confidence in the power of reason to control time and space" (Davoudi, 2012, p. 439).

The next section of the literature review looks at the domain labelled by Friedmann as system engineering, to highlight how the undeniable positivist drive of system thinking does not prevent its permeability to pluralist approaches. The section focuses on more recent contributions in computer science, information science, knowledge engineering and system theory applied to spatial analysis, pursuing pluralist approaches in the decades following the publication of Friedmann's book.

Post-positivism as pluralism in information science and digital modelling

Looking at information science, the first part of this section highlights post-positivist

and pluralist concerns in philosophical and semantic-cognitive approaches. Then the closing focus on uncertainty and on open systems completes the picture with the shift from modelling to open-ended simulation in system thinking, leaving behind the predictive tenet of positivist science (Batty, Torrens, 2001). Helen Couclelis features as the first reference of this section in direct dialogue with John Friedmann's 1987 description of computer science and system engineering as helplessly positivistic. On the one hand, the significance of her scholarship on the philosophical underpinnings of geographic information science is comparable to that of Friedmann in planning theory. Moreover, the time span of her research covers exactly the decades following the publication of Friedmann's book, starting a few years earlier. Arguing, at the onset of her career, in favour of abandoning positivist epistemology in human geography and the social sciences, Couclelis (1983) provides a telling description of post-positivist science which is worth an extended quote:

not truth and objectivity, but clarity of argument and internal coherence in discourse; not quantification, but the creative use of mathematical language, be it of a quantitative or of a more general qualitative sort; not accuracy of measurement and the discovery of general laws, but the thorough definition of the logical classes in which

we order the phenomena we study, and an appreciation of the function of the formal tautologies inherent in abstract mathematical structure in securing logical consistency in theory [...]; not the possibility to reproduce a tidily structured external world, but the ability to make intelligible to man an in itself unfathomable realm of external 'happenings'; not the privileged access to the 'real world', but the capacity to push to its creative limits the world-defining potential of theoretical language. For one of the central messages to emerge out of contemporary theoretical scientific advances surely concerns the extent to which the world we know is the product of the linguistic component in our knowledge (Couclelis, 1983, p. 32).

Argument, creativity, ordering, intelligibility, definition and linguistic production echo the previously mentioned interest of post-positivist planning theory in meaning. Along the same lines, this terminology implies the possibility of plurality, and the related need for conceptual coherency and transparency, a key concern in semantic-cognitive approaches to information science. In the past thirty years this concern has given way to the articulation of formal ontologies. Formal ontologies provide stable terms of reference for setting up and operating models, and for interoperability between information systems. More broadly they establish a semantic and

conceptual consensus to support interaction and communication between both artificial and human agents (Gaio et al., 2010). Using the countable plural already gets to the point, as opposed to the uncountable 'ontology', often written with the upper case (Guarino, 1998; Varzi, 2019), a branch of metaphysics and philosophy studying the prerogatives of being and existence. In fact, formal ontologies appeal to pluralism because they clarify the different options available for the interpretation of a conceptualization, implying the viability of different possible conceptualizations. They are cognitive artifacts providing a representation of a domain as a structure defined by the properties set through axiomatization (Ferrario, 2006). Indeed, pluralism is not a main topic of the literature in this domain. Nonetheless, it can be considered as a background assumption for some, as confirmed by occasional direct references to pluralism and richness as attributes of a desirable ontology (Casati and Varzi, 1999, p.4). For instance, in the context of a debate on the ontological foundations of conceptual modelling, Guarino and Guizzardi (2006) stand in favour of ontological pluralism to set their work apart from ontologies committed to reductionist monism, or the idea that all aspects of being can be reduced to a single definition. Here, they also feel the urge to claim that "a non-reductionist ontology is not necessarily a non-scientific ontology" (*ibidem*, p. 121) to discard an evidently

sticky stereotype. Looking at the idea that ontologies can commit either to monism or to pluralism, Achille Varzi (2019) brings in the dichotomy between conceptualism and realism. By this dichotomy, he explains the difference between ontologies working with conceptualizations within information science and Ontology working with the truth of being in the context of metaphysics and philosophy. In this context, he admits that both conceptualists and realists can in principle be either monist or pluralist. But then he concludes that while "the laws of being are not up for grabs [...]" As a matter of general attitude, conceptualists don't care about the world; they care about conceptualizations. And the laws of conceptualizations are up for grabs." (*ibidem*, p. 8). He also supports his statement providing the example of the DOLCE ontology (Gaio et al., 2010), explicitly developed by Guarino and colleagues "with the vision that a unique universal ontology for knowledge representation cannot exist" (Borgo and Masolo, 2009, p. 372, cit. in Varzi, 2019, p. 8). Here, a contradiction may arise between this vision and the development of foundational ontologies such as DOLCE. The attribute foundational refers to a type of formal ontologies which aims to provide a domain-independent general reference, requiring universal validity to support interaction across domains. This requirement can easily be confused with the aspiration to

singularity, which is clearly contradicted by the proliferation between the mid 1990's and the late 2010's of at least ten foundational ontologies (Borgo et al., 2022; Varzi, 2019). According to Varzi

Such abundance of systems is by itself indicative of how much the field has grown since the early days. But each system deviates from the others in significant ways, not only by employing different methods and techniques but also, crucially, by relying on different ontological categories and principles. And herein lies the trouble (2019, p. 8)

which Varzi describes as trying to overcome the problem of the “database Tower of Babel” (Smith, 2003, p. 158, cit. in Varzi, 2019, p. 8) by encountering a parallel problem at a higher level, the problem of the “ontology Tower of Babel” (Kusnierczyk, p. 41, cit. in Varzi, 2019, p. 8). In 2017, the FOUST workshop engaged with this proliferation to “discuss the concrete use-cases that could be employed to illustrate and elaborate the differences between the popular foundational systems in addressing basic modeling problems” (Borgo et al., 2022, p. 2). Admitting that different ontologies may be more suitable than others in each modeling case of application, this endeavor proposed a comparative framework to turn the tower of Babel into a plurality of options for knowledge engineers to choose. Ultimately, ontological

pluralism appears as a necessary backdrop of the plurality of knowledge, the second dimension of pluralism discussed above.

Moving to the problem of uncertainty or unpredictability in urban and environmental modeling, Batty and Torrens (2001) place the shift from a certain to an uncertain world, at least in human perception, in the second half of the XX century CE. They trace back to this shift the “growing need [...] for ever more complex models and the increasing difficulties in their validation” (ibidem, p. 4). As a result, they stress, “our science has become less orientated to prediction but more an aid to understanding, to structure debate” (ibidem) through a plurality of what-if scenarios whose purpose shall become more akin to exploration and calibration rather than prediction. According to Peter Allen (2021), this exploration shall be approached as an unending process of sense-making. As he puts it,

there is no scientific or unique way to modify our beliefs when they have failed, and so we are condemned to carry on throughout our lifetime trying to make sense of what is going on, what it means and what might happen. [...] even though the development and use of interpretive frameworks is always going to be imperfect, it is still better to have this framework than not to have it. Acting without any model to test is simply trial and error without any learning (Allen, 2021, p. 87).

In the field of environmental planning, Borri et al. (2006) point to the reconsideration of cybernetic models with their linear and deterministic logic, which is ill-prepared to deal with probabilistic and chaotic phenomena. Their reference to cybernetics recalls Friedmann's description of system engineering. While all these sources refer to complexity, they focus on different qualities, emergence and heterogeneity. Batty and Torrens, together with Allen, explicitly build on complexity science to simulate the emergent properties of complex systems. Borri et al. focus on the "pluri-logic procedures" (ibidem, p. 563) of multi-agent planning situations in the context of participatory decision support systems. In line with previous observations on the plurality of decision-making agents and of knowledge, Borri et al. touch upon the first two dimensions of pluralism discussed in this article in contrast to positivist reliance on technocratic decision-making and the objectivity of expert knowledge. In both cases plurality undermines determinism, yet the focus of complexity science goes to the extensive plurality of states intended as the responses of the system to its environment. This plurality of states determines systemic uncertainty and unpredictability (Batty, Torrens, 2001), the third dimension of pluralism discussed in this article. Both focuses substantiate the finding that modeling has gone a long way compared to Friedmann's account of system

engineering, and that it did so in different dimensions. Complexity science contributed to pluralist breakthroughs in system thinking related to the dimension of uncertainty. The engagement with uncertainty can be better understood in the context of the shifts occurred between the original understanding of systems, and therefore the type of models built to represent them, and the new understanding inspired by complexity science. Batty and Torrens (2001) explain this shift by the three key principles of model-building which grounded the assumption of certainty in the early days of system engineering. The first principle is about system boundaries and the crisp separation between a system and its environment, the inside and the outside. The second principle is about equilibrium and the stability and linearity of trajectories of change within the system. The third principle is the homogeneity, regularity and order exhibited by the elements of the system. Just like the three dimensions of pluralism, these three principles can also be placed along a circle of mutual influence. As put by Batty and Torrens

these principles did once appear to be implementable for urban systems but it is now easy to argue that none of these apply to even the simplest system of interest to policy-makers. Systems of any interest are impossible to close, their usual state is far from-equilibrium; often no such equilibrium ever

exists. They are composed of heterogeneous agents and objects, indeed their very richness comes from such heterogeneity (ibidem, p. 4).

These insights call into question the notions of open and closed systems in system theory. A discussion on openness and closure is particularly relevant to the study of urban systems, given the consensus on the explosions and implosions characterizing urbanization processes (Batty, 2022; Brenner, ed. 2014) and the intense debate in urban studies on the extent and scales of urbanization (Brenner, 2018; Schmid, 2018). The notion of open systems, lacking fixed limitations to the exchanges with their environment, exacerbates the aggregation problem typical of general system theory (Batty, 2000). This problem is the result of this theory attempt “to counter science’s long-standing quest to reduce everything to fundamental particles” (Batty, 2000, p.167). Such reduction requires explaining the process through which a number of parts come together to form a whole, but also admitting that this does not happen once and for all. According to Batty, the lack of this explanation leaves system theories of the city describing “wholes in terms of an equilibrium which could not cope with any form of change other than that with the most local impacts” (ibidem). Over the last four decades, complexity theories of cities developed the

study of cities as complex adaptive systems in constant flux and mostly far away from equilibrium. In these systems, the evolutionary process of adaptation drives the emergence of new variables, levels of organization and new boundaries according to non-linear trajectories and evolving combinations of heterogeneous elements (Portugali, 2021). Cities, economies, and ecologies are a typical example of these kinds of “systems whose structure is emergent [...] where new and surprising elements evolve within their structure. [...] This newness and surprise [...] is unusual enough to be largely inexplicable using our traditional approaches.” (Batty, 2000, p.168). This dynamic understanding of urban and environmental systems, their heterogeneity, their constant renewal, makes any boundary between the outside and the inside a feature of a frozen cross section in time. Considering disequilibrium “the ‘normal’ mode in which systems in general operate” (ibidem) adds a diachronic notion of plurality to the previously addressed synchronic ones. In this sense, complex adaptive systems require models tracking discontinuities, positive and negative feedbacks in the evolution of a system, comparing different possible explanations of divergent trajectories of change in distinct yet apparently similar locations (Batty, 2000). Such models ought to be both diachronically and diatopically pluralist to attend the

principle of non-causality, described by Yuval Portugali as the impossibility of establishing a direct correspondence between ifs and thens.

With machines, once you have all the ifs, you can, in principle, know all the 'thens'; with complex systems this is not so. Some say that this is because technical limitations in that complex systems have so many parts [...] that identifying all ifs is technically not possible. However, in principle, if it was possible, then determining the 'thens' would be possible. Some (myself included) say that this is ontologically so – there is no limited number of 'ifs' and 'thens'; complex systems are inexhaustible (Portugali, 2021, p. 15).

In this light, the problem of open systems expands from rethinking the relation between a system and its environment to rethinking wholeness and the process of aggregation of parts in a system. The dynamism of such aggregation creates plurality of states and uncertainty on various levels: knowledge, the relation between knowledge and decision, and between decisions and outcomes. In this light, uncertainty in complexity science, in addition to the plurality of decision-makers and knowledge(s) in participatory approaches to planning, can be considered as an herald of pluralism in system engineering and system thinking.

Conclusion

The legacy of positivism and the engineering mindset in planning thought has been analysed in detail elsewhere (Friedman, 1987; Davoudi, 2012). This article focuses on three tenets of this legacy, the trust in technocratic decision making, in the objectivity of expert knowledge, and in certainty. Since these tenets converge in reinforcing the reductionist idea of the singularity of truth, scientific pluralism can be considered as an antidote to positivism across domains. By comparing these original tenets to more recent advancements towards scientific pluralism in planning theory, information science and digital modelling, this article serves three needs. In the first place, the influence on planning practice of a new and on the rise scientism (Davoudi, 2012) points to the need to keep revisiting the tenets of positivism and their surviving influence in spatial planning. Moreover, the frenzy around AI developments points to the need to challenge flattening and polarized perceptions of information science applications in planning, tracking motives and attitudes behind perceptions and understandings of new discoveries and inventions. Finally, acknowledging a shared commitment to operate in multi-agent decision making environments (vs. technocratic decision), with multiple knowledges (vs. undisputable expert knowledge), and comprehensively dealing with

plural system states and uncertain responses (vs. immutable laws and certainty), encourages like-minded scholars to foster pluralist approaches across domains. Such collaboration defuses both enthusiasms and anxieties regarding the augmentation of positivist planning practice through AI applications. In this light, this article goes beyond “identifying and tracing [...] how theories are transformed, mediated and used” (Allmendinger, 2002, p. 89). It wishes to trigger a conversation to lay a common ground for inter-operability, mutual influences and integration of efforts across domains.

Indeed, the purpose of the proposed conversation requires further clarification, as highlighted, for example, with the previously mentioned Tower of Babel effect (Varzi, 2019). To begin with, the notion of pluralism, as intended here, shall be set apart from that of relativism, even though both converge on the contestation of the singularity of truth. Pluralism engages with diversity as a collaborative learning process. It expresses and clarifies axes of conflict, and develops shared vocabularies, through dialogic approaches such as the science of muddling through (Lindblom, 1959) or the device of local trading zones (Balducci and Mäntysalo, 2013). On the contrary, the relativist appeal to diversity tends to compartmentalization. It heightens risks of overlooking mutual influences and the continuity between processes of knowledge

differentiation, intersection and confusion. It is inclined to losing sense of direction among “a myriad of ‘language games’, personal opinion and ultimately incommensurable ideology” (Allmendinger, 2002, p. 93). This distinction is key to the pursuit of interoperability between systems and knowledges. In turn, this pursuit is key to make any alternative to positivist reductionism operationally viable. In the case of AI powered planning support systems, this pursuit requires interpretative and conceptualist approaches to human-computer interaction. Pluralist approaches disentangle the wish to increase the computing abilities of machines from the positivist drive to calculate one’s way to the discovery of the immutable laws prospected by Saint-Simon. Instead, they exploit the inherent mutuality of human-computer interaction to integrate hermeneutics in the very process of computation. In this sense, the post-positivist emphasis on interpretation and meaning in planning (Allmendinger, 2002; Davoudi, 2012) speak to the efforts in conceptual coherency and transparency deployed by cognitive-semantic approaches to information science. In terms of intellectual traditions, this correspondence resonates in the opposition to realism shared by interpretationism and conceptualism, as put respectively by Davoudi and Varzi, as long as there is no slip into idealism, nor into relativism. In other words, these references confirm that working with interpretation and

concepts, rather than with undisputable or mutually incommensurable truths, stands as a shared endeavour across domains. Moreover, for interoperability to adapt to system change and work beyond the fixity of certainty, modeling open systems, as proposed by Peter Allen, brings to the conversation the benefits of recursive experimental learning regarding the multiple states emerging from complexity and wholeness. Overall, a pluralist commitment requires embarking on the learning processes of muddling through diversity and complexity. Indeed, interpretative and conceptualist devices pursuing conceptual coherency and transparency sustain learners' sense of direction away from the positivist mould, by making the muddling process more intelligible, and therefore liable to scrutiny.

When data-driven applications in planning support systems bypass conceptual coherency and transparency checks, they contribute to the embroilment of planning practice in the positivist mould. For example, advertising narratives about these applications tend to shift attention away from the need to monitor their procedural and material flaws. By confusing tools, means and ends, the AI for sustainable, circular or equitable, cities brands create the illusion that the proposed tools are intrinsically geared to the pursuit of allegedly good intentions. This illusion overshadows the analytical biases entrenched in the choice of data sources or in the design

of the algorithmic logic, not to mention the under-researched footprint of their physical infrastructure in terms of energy and water consumption. Instead, these problems need to be reckoned with as an intrinsic liability and addressed with appropriate mitigation methods and measures. Overlooking analytical biases supports positivist assumptions that data and algorithms are factors of objectivity and certainty per se, granting validity and solidity once and for all, and ignoring the need to pursue their recursive enhancement via semantic interoperability, ergo transparency. By focusing attention on the nobility of alleged ends, these narratives reinforce the technocratic flatness of the assumption that appropriate calculation will ensure certainty in the pursuit of these ends. Overall, these brands dissimulate the fact that tools like AI have no intentions, noble or despicable as human intentions may be. These tools can be engaged for means such as monitoring through large scale data analytics based on automated sensing and data mining, or scenario building and problem solving, for example through reinforced learning. In turn, these means may work towards both intentional and unintentional, noble or despicable, ends. No matter the tools' computational capabilities, the pursuit of intentional ends, and of the ways in which means powered by AI tools are used towards these ends, are the prerogative of human agents. Moreover, this pursuit is not a

matter of AI nor of human calculation. Instead it is a matter of human deliberation and sense-making (Schön, 1983; von Glasersfeld, 1995) channeled into the arguments engendering connection between encoders and decoders, writers and readers. This connection is tied to arguing and interpreting. It exceeds AI copycat competences, just like writing and reading for transformation exceeds the standardized uniformity of a large language model's outputs (Lim, 2025). Increasing the aptness of modeling tools to recursive enhancement, pluralist approaches informed by semantic-cognitive and complexity paradigms improve modeling outputs suitability to meaningful argumentation and interpretation. In this way, as proposed in this article, these approaches can steer AI capabilities in the service of post-positivist interpretative and hermeneutic planning. This proposal assumes that AI capabilities require actual integration with human capabilities, because of their intrinsic difference. It resists both enthusiastically relinquishing human capabilities by blindly relying on AI outputs, and anxiously rejecting AI as an absolute threat, implicitly framing it as a legitimate competitor.

References

- Allen, P. M. 2021, *Complexity: the evolution and planning of towns and cities*, in Portugali, J. ed. *Handbook on Cities and Complexity*, Cheltenham, UK and North Hampton, USA, Edward Elgar.
- Allmendinger, Ph. 2002, *Towards a post-positivist typology of planning theory*, in «Planning Theory», 1(1), pp. 77-99.
- Balducci, A. and Mäntysalo, R. 2013, *Urban planning as a trading zone*, Springer.
- Batty, M. 2000, *Editorial*, in «Environment and Planning B: Planning and Design», 27, pp. 167-168.
- Batty, M. 2022, *The post-pandemic city: speculation through simulation*, in «Cities», 124, 103594.
- Batty, M. and Torrens, P.M. 2001, *Modeling complexity: The limits to prediction*, in «UCL Working Papers Series», Paper 36 – Oct 01.
- Borgo, S., Galton, A., Kutz, O. 2022, *Foundational ontologies in action: understanding foundational ontology through examples*, in «Applied Ontology», 17, pp. 1-16.
- Borri, D., Camarda, D., Grassini, L. 2006, *Distributed Knowledge in Environmental Planning: Hybrid IT-Based Approaches in Scenario-Building Contexts*, in «Group Decision and Negotiation», 15, pp. 557-580.
- Brenner, N ed. 2014, *Implosions/explosions: Towards a study of planetary urbanisation*, Berlin: Jovis.
- Brenner, N. 2018, *Debating planetary urbanization: For an engaged pluralism*, in «Environment and Planning D: Society and Space», 36(3), pp. 570-590.
- Campagna, M. 2016, *Metaplaning: about designing the Geodesign process*, in «Landscape and Urban Planning», 156, pp. 118-128.
- Casati, R., and Varzi, A. C. 1999, *Parts and places: The structures of spatial representation*, MIT press.

- Couclelis, H. 1983, *Some second thoughts about theory in the social sciences*, in «Geographical Analysis», 15(1), pp. 28-33.
- Davoudi, S. 2012, *The Legacy of Positivism and the Emergence of Interpretive Tradition in Spatial Planning*, in «Regional Studies», 46(4), pp. 429-441.
- Fainstein S. S. 2000, *New directions in planning theory*, in «Urban Affairs Review», 35(4), pp. 451-478.
- Ferrario, R. 2006, *Who Cares about Axiomatization? Representation, Invariance, and Formal Ontologies*, in «Epistemologia», 2, pp. 323-342.
- Friedmann, J. 1987, *Two Centuries of Planning Theory*, in Id., *Planning in the Public Domain: From Knowledge to Action*, Princeton, NJ: Princeton University Press, pp. 51-85.
- Gaio, S., Borgo, S., Masolo, C., Oltramari, A., Guarino, N. 2010, *Un'introduzione all'ontologia DOLCE*, in «AIDAinformazioni», 28 (1-2), pp. 107-125.
- Gil, R. ed. 2020, *City information modelling: digital planning for sustainable cities*, in «Built Environment», 46 (4).
- Geertman, S., and Stillwell, J. 2004, *Planning support systems: an inventory of current practice*, in «Computers, Environment and Urban Systems», 28(4), pp. 291-310.
- Guarino N. 1998, *Formal Ontology and Information Systems*, in Id., ed. *Formal Ontology in Information Systems (FOIS'98)*, Amsterdam, Trento: IOS Press, pp. 3-15.
- Guarino, N., and Guizzardi, G. 2006, *In the defense of ontological foundations for conceptual modeling*, in «Scandinavian Journal of Information Systems», 18(1), pp. 115-126.
- Healey P. 1997, *Traditions of planning thought*, in Id., *Collaborative Planning*, Palgrave, London, pp. 7-30.
- Jiang, H., Geertman, S., Witte, P. 2020, *Avoiding the planning support system pitfalls? What smart governance can learn from the planning support system implementation gap*, in «Environment and Planning B: Urban Analytics and City Science», 47(8), pp. 1343-1360.
- Lim, Th. C. 05 Feb 2025, *Words and Meaning in 2024*, in «Planning Theory & Practice».
- Lindblom, C. E. 1959, *The science of muddling through*, in «Public Administration Review», 19(2), pp. 79-88.
- Pelzer, P., Geertman, S., van der Heijden, R. 2015, *Knowledge in communicative planning practice: a different perspective for planning support systems*, in «Environment and Planning B: Planning and Design», 42, pp. 638 – 651.
- Portugali, J. ed. 2021, *Handbook on Cities and Complexity*, Cheltenham, UK and North Hampton, USA, Edward Elgar.
- Schmid, C. 2018, *Journeys through planetary urbanization: decentering perspectives on the urban*, in «Environment and Planning D: Society and Space», 36(3), pp. 591-610.
- Schön, D. A. 1983, *The reflective practitioner*. Basic Books.
- Varzi, A. C. 2019, *Carnapian engineering*, in S. Borgo, R. Ferrario, C. Masolo, and L. Vieu eds., *Ontology Makes Sense. Essays in Honor of Nicola Guarino*, Amsterdam, IOS Press, pp. 3-23.
- Von Glasersfeld, E. 1995, *Radical constructivism: A way of knowing and learning*. The Falmer Press.
- Yiftachel, O. 1989, *Towards a new typology of urban planning theories*, in «Environment and Planning B: Planning and Design», 16, pp. 23-39.

Intelligenza artificiale, da un mondo distopico al riconoscimento del patrimonio territoriale

Artificial Intelligence:
From a Dystopian
World to the
Recognition of
Territorial Heritage

Claudio Saragosa

Dipartimento di Architettura,
Università degli Studi di Firenze
claudio.saragosa@unifi.it
orcid.org/0000-0001-8183-2463

Maddalena Rossi

Dipartimento di Architettura,
Università degli Studi di Firenze
maddalena.rossi@unifi.it
orcid.org/0000-0002-4915-6749

Received: May 2025 / Accepted: December 2025 | © 2025 Author(s).
This article is published with Creative Commons license CC BY-SA 4.0
Firenze University Press.
DOI: 10.36253/contest-16166

keywords

artificial intelligence
psychopolitics
territorial heritage
AI urbanism
embodied mind

Introduzione

Il presente contributo si propone di indagare le profonde trasformazioni che investono il rapporto tra potere, tecnologia e spazio urbano nell'era contemporanea. L'analisi prende avvio da una ricognizione storica delle forme di dominio, tracciando una linea evolutiva che parte dalle narrazioni distopiche del Novecento – dal *Mondo Nuovo* di Huxley al *Grande Fratello* di Orwell – per evidenziare come i mass media siano stati, fin dalle origini, veicoli di manipolazione finalizzati all'uniformità sociale. Questa traiettoria storica giunge fino all'attuale scenario digitale, dove le intuizioni di Michel Foucault sulla biopolitica vengono potenziate

e riconfigurate dalle moderne infrastrutture cognitive.

Il cuore teorico del testo affronta il passaggio dal controllo disciplinare dei corpi al 'regime dell'informazione' teorizzato da Byung-Chul Han, in cui il dominio diviene 'psicopolitico': sfruttando la connessione volontaria e la sorveglianza algoritmica, il sistema trasforma la libertà percepita in uno strumento di controllo e l'abitare domestico in una prigione digi-

The contribution examines the radical transformations in the relationship between power, technology, and urban space in the contemporary era, exploring the evolution from the dystopian narratives of the 20th century to the current digital scenario. Through theories such as Michel Foucault's biopolitics and Byung-Chul Han's psychopolitics, the text emphasizes how modern cognitive infrastructures have transformed surveillance into a mechanism of control based on voluntary connection and perceived

freedom, risking reducing living to a comfortable digital prison. Criticizing the dematerialization of experience, the article argues that cognitive processes are embodied and relational, asserting the importance of physical interaction with the environment. The author critiques the technocratic vision of the smart city and proposes a reinterpretation of urban planning through the concepts of 'hybrid space' and 'living city.' The central goal is to define a new "right to the city" in the era of AI urbanism, proposing the use of artificial intelligence not as a tool of control but as a means of analyzing territorial heritage. The suggested approach includes the use of data-mining techniques to identify the identity qualities of places, with the goal of bridging the gap between humans and their environment, integrating both physical and digital dimensions in support of collective well-being.

tale confortevole. In questo contesto, dove il mondo rischia la 'polverizzazione' in bit informazionali anticipata da Vilém Flusser, si pone il problema cruciale della smaterializzazione dell'esperienza. Contro l'illusione di una mente separabile dal corpo, il testo rivendica la natura

'incarnata' e 'relazionale' dei processi cognitivi, sostenendo che il cervello necessita dell'interazione fisica con l'ambiente per svilupparsi e funzionare.

Su queste basi filosofiche si innesta la riflessione disciplinare urbanistica. L'articolo discute la crisi della città intesa come spazio fisico collettivo, minacciata dalla fusione tra pubblico e virtuale e dalla retorica della *smart city* come progetto di ingegnerizzazione *top-down*. Tuttavia, rifiutando posizioni luddiste, si esplora la possibilità di un nuovo 'diritto alla città' nell'era dell'Intelligenza Artificiale (AI) e dell'*AI urbanism*. Attraverso il confronto con le tesi di Gaeta sui 'luoghi ibridi' e di Moreno sulla *Civic Tech*, il testo approda a una proposta metodologica operativa: l'utilizzo dell'AI e del *deep learning* non come dispositivi di sorveglianza, ma come strumenti ermeneutici per l'analisi patrimoniale del territorio. L'obiettivo è sfruttare i *big data* visivi per riconoscere le 'invarianti topologiche' e le qualità identitarie dei luoghi, ricomponendo così la frattura tra l'uomo e la 'carne del mondo'.

2. Immaterialità e potere

2.1 Distopie novecentesche e nuove forme di dominio

Nel corso del Novecento, le trasformazioni delle modalità con cui il potere si organizza nelle società occidentali sono state oggetto di numerose narrazioni apocalittiche. Aldous Huxley (1894-1963), in *Il mondo nuovo* (1932) e

nel successivo saggio *Ritorno al mondo nuovo* (1958) (Huxley, 2011), descrive una società futura in cui il lavoro è ridotto a un'attività semplice, priva di sforzo mentale e fisico, mentre il tempo libero è pianificato in modo tale che nessuno desideri di più. La manipolazione dei cervelli è resa possibile da un sistema capace di mantenere l'equilibrio del *Gran Governo* e della *Grande Impresa* attraverso l'industria della comunicazione di massa, che non offre né verità né falsità, ma piuttosto l'irreale – ciò che non significa più nulla.

George Orwell, in *1984* (Orwell, 1950), mette in scena una diversa ma complementare forma di dominio: il controllo totale mediato da uno strumento onnipotente, lo schermo televisivo, che sta facendo capolino in ogni angolo dello spazio collettivo e privato. Questo schermo fa prevedere all'autore un ipotetico controllo da un punto verso tutti, che diviene nel romanzo un *Grande Fratello* che spia. La televisione non solo semplifica la manipolazione dell'opinione pubblica – processo già favorito dalla stampa e poi dal cinema – ma, *consentendo di ricevere e trasmettere simultaneamente immagini attraverso il medesimo strumento*, pone fine alla vita privata, inducendo una cieca obbedienza alla volontà dello Stato, ma anche una uniformità di opinioni mai sperimentate prima.

Ritornando ad Huxley possiamo poi sorprenderci dal fatto che egli, circa dieci anni dopo la data di ambientazione del romanzo di Orwell

(nel 1958), grazie al progresso tecnologico di tutti i canali mediatici, vede già un modo di controllo in una società libera e democratica molto più raffinato. Per l'autore *l'arte del controllo dei cervelli sta diventando una scienza*. Le *Superorganizzazioni* ben sanno e sapranno ricorrere a *tutte le tecniche manipolatorie di cui dispongono* per indurre in *adulti e bambini l'uniformità sociale e culturale*. Nella *metropoli moderna* è oramai diventata *pressoché impossibile una vita umana piena, fatta di rapporti personali* molteplici; oramai si vive in *modo indifferente all'idea dell'autogoverno e così piattamente disinteressati alla libertà di pensiero e al diritto di opposizione*.

È con questo senso profondo di cambiamento che si apre la stagione del secondo dopoguerra che maturerà fino a quando negli anni Sessanta esploderanno tutte le contraddizioni rilevate nei testi della critica alla società dei consumi. Tra questi Jean Baudrillard (1929-2007) (Baudrillard, 1976), negli anni '70 del Novecento, afferma con determinazione che la promozione degli uomini a *puri consumatori* sarà *la realizzazione del loro destino di servi*. Il consumo diverrà talmente potente da sostituirsi a tutte le ideologie così come, e in modo assai più efficace, *nelle società primitive facevano i rituali gerarchici o religiosi*.

Questi titoli sottolineano come l'evolversi dei mezzi di informazione, sin dalle loro origini, sia stata indotto da una trasformazione del potere in chiave di controllo. Essi evidenziano come

i *mass media* (siano essi la stampa, il cinema o la televisione), non siano strumenti neutri, ma veicoli di manipolazione e di sorveglianza dell'opinione pubblica finalizzati a garantire l'obbedienza dei cittadini a forme date di dominio.

2.2 Biopolitica, frammentazione e smaterializzazione del mondo

Michel Foucault (1926-1984) (Foucault, 1991) parlerà di *biopolitica* e di *biopotere*, ovvero l'insieme di dispositivi, tecniche e pratiche mediante cui il potere politico si orienta non più soltanto alla coercizione dei corpi individuali, come nelle forme disciplinari classiche, ma alla gestione, alla regolazione e all'ottimizzazione della vita stessa, intesa nella sua dimensione collettiva e biologica.

L'originalità dell'intuizione foucaultiana risiede nella comprensione del fatto che il potere moderno non opera più principalmente attraverso la repressione o il divieto, bensì attraverso dispositivi che producono vita, che la fanno crescere, la regolano e la orientano, generando forme di soggettività compatibili con determinati assetti economici, politici e tecnici. Esso controlla quindi *la proliferazione, la nascita e la mortalità, il livello di salute, la durata di vita, la longevità*, un potere che non è *più di uccidere ma d'investire interamente la vita*. In questo senso *il potere è dappertutto; non perché inglobi tutto, ma perché viene da ogni dove*. Tale concezione sembra assumere carattere predit-

tivo se comparata alle modalità di azione delle moderne e contemporanee infrastrutture cognitivo-mediatiche (*mass media*, sistemi AI), che non sostituiscono le forme tradizionali del biopotere, ma le potenziano e le riconfigurano, trasformando la gestione della vita in un processo continuo di ottimizzazione, sorveglianza e orientamento dei comportamenti, dove il confine tra informazione, controllo e governo della soggettività diventa progressivamente più sfumato.

Questa forma diffusa e onnipresente di controllo rimanda alle riflessioni che Vilém Flusser (1920-1991) (Flusser, 2009) sviluppa negli anni Ottanta. Egli analizza come le immagini prodotte dai vari apparati tecnici (una nuova forma di prodotto caratteristico delle società di fine XX secolo) stiano trasformando il rapporto tra l'uomo ed il mondo e che questa trasformazione comporta la polverizzazione dell'ambiente in cui siamo immersi, il quale *si frantuma in uno sciame di particelle e quanti di bit informazionali*. Questo processo di disintegrazione del senso avverrà fino a che le immagini vengono emanate da un punto e come fasci luminosi si disperdono (con la televisione, ad esempio). Ma quando si passerà dallo stato della diffusione centro-periferica (un fascio informativo che da un punto si diffonde universalmente) allo stato dialogico (dall'unidirezionalità ad una complessa multi-direzionalità) si formerà una società contraddistinta da *un tessuto reticolare che noi siamo abituati a*

chiamare 'democratico'. Una società del 'dialogo cosmico' in cui gli uomini dialogheranno tra loro attraverso le immagini per produrre sempre nuove informazioni e situazioni sempre più inverosimili a bassa entropia. In questa nuova forma di società caratterizzata da una profonda 'cultura di massa' emergerà una sorta di felicità simile, tanto a livello intellettuale quanto anche a livello morale ed estetico, a quella che si prova quando ritorniamo allo stadio della camera dei bambini. Insomma, Flusser anticipa la società della rete mondiale interconnessa e dialogica. La descrive come una sorta di comunità globale in cui gli uomini, di nuovo produttivi e creativi, capaci di gestire apparati ormai molecolarizzati, generano sempre nuova informazione stratificata in schermi che fanno apparire immagini tecniche proiettate democraticamente nelle infinite direzioni possibili. In questo mondo di bit informativi che si stratificano in una superficie astratta, lo spazio collettivo viene de-materializzato.

Sebbene questi autori abbiano intuito una serie di temi che sembrano caratterizzare il mondo attuale (e su cui tanto discutiamo), più recentemente il dibattito scientifico ha messo in luce alcuni nuovi tratti delle forme diffuse e materializzate del potere contemporaneo. Il primo l'emersione di un nuovo sistema *bio-politico* di controllo e accumulo del capitale che inizia ad essere delineato, per esempio, da Shoshana Zuboff (1951) nel suo *Il capitalismo della sorveglianza* (Zuboff, 2021), fondato

sull'estrazione sistematica di dati comportamentali e sulla loro trasformazione in prodotti predittivi. Il secondo è la sottovalutazione del problema ambientale legato alle nuove tecniche di gestione dell'informazione (la società affatto de-materializzata del cosiddetto mondo virtuale). Una prima approssimazione al problema si può trovare in alcuni nuovi testi e fra questi il lavoro di Ed Conway *La materia del mondo* (Conway, 2023), che mette in evidenza quale quantità di materia-energia è richiesta da quel mondo sedicente virtuale o il testo di Guillaume Patron (Patron, 2022), che tratta dei problemi energetici legati alla diffusione della rete internet e di tutti i propri nodi e i propri *data center*. Un altro tema, infine, è rappresentato dall'emergere, in questi anni, della discussione sull'AI. L'AI è una tecnologia potentissima che può attingere a sterminate banche di informazioni (mediante le proprie *machine learning*). Ma questa nuova tecnica per operare ha pur sempre bisogno di istruzioni (algoritmi, cioè processi logici che risolvono un dato problema per mezzo di un numero finito di passi elementari (Murzio, Spallino, 2019). A scrivere gli algoritmi (in un linguaggio proprietario e quindi non accessibile a tutti), sono comunque uomini che hanno una propria visione del mondo e una propria etica che può non essere quella del pubblico a cui il prodotto è indirizzato: quanti *bias* si nascondono nell'algoritmo? Si vedano su questo tema i testi di Stefano Quintarelli (Quintarelli, 2020).

3. Corpo, spazio e infosfera

3.1 L'inconsistenza del reale

Nella consapevolezza dell'intimo legame tra la smaterializzazione dell'informazione e l'esistenza di nuove e pervasive forme di biopotere, occorre anche affrontare un altro nodo teorico estremamente pertinente sul piano disciplinare (urbanistico-territoriale), che è quello della relazione tra corpo, spazio e infosfera. La questione riguarda la progressiva immersione della mente nel mondo smaterializzato della pura informazione, fenomeno già anticipato da Vilém Flusser (Flusser, 2009). Nella società digitale contemporanea, caratterizzata da un ambiente caldo e avvolgente che anestetizza la percezione delle distanze – quasi una *camera dei bambini* – la mente tende ad accoppiarsi con un contesto non più strutturato fisicamente, il cyberspazio.

In questo ambiente immateriale, i processi cognitivi trovano un analogo speculare che sembra dare loro una soddisfazione più intensa rispetto all'interazione col mondo fisico. Autori come Shaun Gallagher, Dan Zahavi (2022) e Riccardo Manzotti (Manzotti, 2019), hanno però mostrato quanto sia illusoria l'idea di una mente potenzialmente separabile dal corpo: ogni processo mentale è radicato nella relazione simbiotica con un corpo che sente, agisce e abita uno spazio configurato. Eppure, nella percezione collettiva, il corpo e lo spazio che lo contiene sembrano perdere consistenza. L'immersione nel flusso informativo produ-

ce una sensazione di liquidità: il corpo appare quasi superfluo, lo spazio costruito diviene un residuo, mentre lo spazio collettivo – quello della città, dell'incontro, del conflitto, della politica – si frantuma come un oggetto gettato ai margini. In un mondo governato dall'infosfera, lo spazio fisico sembra trasformarsi da risorsa essenziale a fardello per una dimensione digitale percepita come a-spaziale.

3.2 La solitudine dell'individuo connesso

Byung-Chul Han (1959) (Han, 2023) chiama *regime dell'informazione quella forma di dominio nella quale l'informazione e la sua diffusione determinano in maniera decisiva, attraverso algoritmi e AI, i processi sociali, economici e politici*. Nel regime dell'informazione non contano più corpi ed energie ma soltanto informazioni e dati. Vi è quindi un passaggio dal regime disciplinare foucaultiano, biopolitico, in cui il corpo è centrale (e quindi centrale è lo spazio, per esempio nella massima espressione del controllo con il panottico), alla fondamentale immersione della mente nel flusso informativo, operazione che ci fa sentire liberi, autentici e creativi. Secondo Byung-Chul Han nel regime dell'informazione non c'è più nessun interesse per il controllo del corpo in quanto il processo si impadronisce della psiche attraverso, semmai, una *psicopolitica*. Il controllo avviene non mediante l'isolamento del corpo ma, semmai, attraverso la connessione ai dispositivi informatici: la tecnica informatica digitale rovescia

la comunicazione in sorveglianza, quanti più dati generiamo, quanto più intensivamente comunichiamo, tanto più efficiente diventa la sorveglianza. E questa sorveglianza non ci fa sentire meno liberi, anzi, immergendoci in un mondo immateriale di comunicazioni il senso di libertà aumenta vertiginosamente: il dominio si compie nel momento in cui libertà e sorveglianza coincidono.

Byung-Chul Han ci invita a riflettere sul fatto che il regime dell'informazione trasforma la casa in una *smart home*, l'appartamento in una prigione digitale. L'abitare diviene un luogo in cui il benessere, dato dallo *smart*, fa sì che ci si adagi come in una culla e che, quindi, non si senta più la voglia di opporre alcuna resistenza al regime dominante. Del resto, il regime dell'informazione isola gli esseri umani: persino quando si riuniscono, essi non costituiscono una massa, bensì sciami digitali che non seguono un capo, ma i loro *influencer*. L'autore si spinge ad ipotizzare che Big Data e AI consentono al regime dell'informazione di condizionare il nostro comportamento a un livello posto al di sotto della soglia di coscienza. Esso si appropria di quegli strati preriflessivi, pulsionali, emotivi del comportamento, che precedono le azioni coscienti. Il nuovo regime dell'informazione stacca gli uomini dallo spazio fisico in cui dovrebbero essere immersi e li proietta piuttosto in una infosfera che si distingue dalle precedenti forme di trasmissione dell'informazione, per esempio dai media degli anni '60

(radio e televisione studiati fra gli altri da Habermas in *Storia e critica dell'opinione pubblica* del 1962 (Habermas, 2005) in quanto manca di una struttura anfiteatrale. Il regime contemporaneo ha piuttosto una *struttura rizomatica* dei media digitali, che non possiede un centro. Ciò comporta secondo Byung-Chul Han che la sfera pubblica decada a spazio privato e la nostra attenzione non sia più diretta su temi rilevanti per la società nel suo complesso. Del resto, le informazioni vivono nel fascino della sorpresa, distruggendo la stabilità temporale, così facendo frammentano la percezione: gettano la realtà in un *vortice permanente di attualità*. Le informazioni atomizzano il tempo distruggendo la necessità delle narrazioni che richiedono appunto continuità temporale. E in questo modo frammentano anche lo spazio che non nutre più con il grande fluire delle forme e delle vibrazioni percepite dai corpi. Secondo Han, quindi, il regime informazionale isola gli individui: anche quando riuniti fisicamente, non danno vita a una massa, ma a sciami digitali privi di coesione, mossi non da una presenza corporea condivisa ma dagli impulsi dell'infosfera e dai loro influencer.

3.3 Per una ricomposizione 'incarnata' tra corpi e luoghi

La conservazione del rapporto fra mente, corpo e ambiente è invece imprescindibile. Il cervello può attivare processi mentali solo perché con il corpo ha raccolto informazioni interagendo

con l'ambiente fisico circostante. Alla nascita il cervello non è *tabula rasa* (ha già determinazioni di tipo genetico), ma ancora deve definire *il disegno dei circuiti cerebrali*, come direbbe Antonio Damasio (1944); deve cioè costruire il proprio *connettoma* (come lo chiamerebbe Olaf Sporns (1963) prodotto dalla immersione del suo corpo nello spazio-tempo fenomenologico. I processi mentali si attivano in quel cervello formatosi dalla raccolta delle informazioni-sensazioni catturate dal proprio corpo senziente e sedimentate negli incroci neuronali per mezzo della sinaptogenesi. Senza immersione continua nello spazio-tempo fenomenologico, i processi mentali produrrebbero ben altri effetti. Del resto, una mente disaccoppiata dal proprio ambiente probabilmente non può funzionare. Lo psichiatra Daniel J. Siegel (1957) (Siegel, 2017), fa delle ipotesi su ciò che si può intendere con il concetto di mente superando la classica visione che la mente sia solo l'attività cosciente del cervello. Per Siegel la mente è *relazionale* e con ciò si vuole significare che essa è non solo incarnata nel cervello e nel corpo, di cui sente l'attività rendendola cosciente, ma è anche potentemente interconnessa *con il mondo 'esterno', in particolare con le altre persone ed entità dell'ambiente*. L'aspetto '*incarnato*' comprende, infatti, i processi interni delimitati dalla pelle e che coinvolgono *non soltanto l'attività del cervello contenuto nel cranio, ma l'intero corpo nel suo interagire con il mondo*. Per Siegel tutto ciò non è sufficiente

per comprendere la mente che si svela solo se si tiene conto anche degli aspetti '*relazionali*' che racchiudono l'interazione *con gli altri e con il mondo più ampio*. Per capirsi il benessere della mente si ottiene anche mediante *una comunicazione sintonizzata ed empatica* con il mondo esterno.

Da questa prospettiva, la sfida contemporanea non consiste nel rifiutare l'infosfera, ma nel riconfigurare il rapporto tra spazio fisico e spazio digitale, restituendo corpo e città al loro ruolo originario: luoghi di esperienza, di apprendimento sensoriale, di costruzione delle relazioni e delle identità. Occorre ridefinire un'ecologia complessa dell'esperienza umana, in cui la città torni a essere un dispositivo cognitivo ed emotivo imprescindibile. Occorre ripensare lo spazio urbano non come residuo del digitale, ma come infrastruttura viva che dà forma al modo in cui la mente abita il mondo.

4. Urbanistica e Intelligenza Artificiale: Nuove Sfide per il Diritto alla Città

4.1 Il diritto alla città nell'era del digitale

Se l'AI ci lega solo a mondi virtuali e ci impoverisce privandoci della nostra immersione nello spazio che ci nutre, è solo riconquistando di nuovo un ambiente vitale che possiamo ritrovare quel plusvalore che ci viene sottratto nella nostra adesione (oltretutto volontaria) ai nuovi cicli (di produzione-consumo) informativi. È il nostro nuovo *diritto alla città* (come vorrebbe Henri Lefebvre (1901-1991) (Lefebvre,

1972): il diritto ad uno spazio ricco e accogliente verso cui dobbiamo piegare i nuovi strumenti che la tecnica ci mette a disposizione. Senza volgere lo sguardo verso inutili battaglie ludiste, bisogna che le nuove tecniche di gestione dell'informazione (AI) non consistano più in strumenti di controllo e privazione della complessità fenomenologica, quanto piuttosto strumenti per la composizione di una relazione simbiotica dell'uomo con il proprio ambiente. Su questo tema si stanno aprendo interessanti percorsi di ricerca.

Una parte importante della letteratura recente ha interrogato criticamente la *smart city*, evidenziandone tanto le promesse quanto le ambivalenze. Greenfield (2013) ha denunciato l'uso della *smart city* come progetto top-down di ingegnerizzazione urbana; Vanolo (2014) ha messo in luce la *smartmentality* come strategia disciplinare che promuove un comportamento 'intelligente' e conforme; Söderström, Paasche e Klauser (2020) hanno interpretato le *smart cities* come corporate storytelling; Trencher (2019) ha distinto fra *smart city* orientata alla competitività e *smart city* 2.0 orientata alle sfide sociali; Bonomi e Masiero (2014) hanno proposto la nozione di *smart land*, spostando l'attenzione dalla città al territorio; Lucaioli (2020) ha fatto dialogare la *smart city* con il paradigma della giustizia spaziale. Nel quadro di queste riflessioni, Cardullo, Di Felicianonio e Kitchin (2019) hanno rilanciato il concetto di *right to the smart city*, mostrando come le

piattaforme digitali possano al tempo stesso ampliare e restringere le possibilità di partecipazione, a seconda di chi controlla i dati, gli algoritmi e le infrastrutture.

Negli ultimi anni, poi, il dibattito si è spostato dall'idea di *smart city* a quella di *AI urbanism*. Autori come Cugurullo et al. (2023; 2024), Luusua et al. (2023), Iapalo e Lynch (2025), Palmi e Cugurullo (2023) hanno analizzato l'emergere di forme di intelligenza artificiale urbana che non si limitano a ottimizzare servizi, ma contribuiscono a ridefinire l'epistemologia, la politica e l'etica della pianificazione. L'*AI urbanism* interroga la città come campo in cui algoritmi, sistemi di riconoscimento, piattaforme predittive e robotica interagiscono con gli spazi pubblici, la mobilità, la sicurezza, il consumo energetico, producendo nuove geografie del potere e della visibilità. In questo quadro, il *diritto alla città* si intreccia con il *diritto ai dati*, alla trasparenza algoritmica, alla partecipazione ai processi decisionali che governano l'infrastruttura digitale urbana.

4.2 Sfide

Alla luce delle considerazioni fin qui esposte, è evidente come la trasformazione digitale stia avendo un impatto profondo sugli spazi urbani, sollevando interrogativi cruciali per l'urbanistica del XXI secolo. La crescente digitalizzazione dell'esperienza urbana e la fusione tra la città fisica e quella virtuale pongono una serie di sfide urgenti per gli urbanisti contempora-

nei, costringendo la professione a evolversi e a rispondere a esigenze nuove e complesse.

In tale prospettiva un corpo di riflessioni molto stimolanti per la disciplina arriva dal lavoro di Luca Gaeta (2024), che argomentando sulle implicazioni della compenetrazione tra spazio fisico e digitale ci invita a ripensare il nostro ambiente urbano in termini completamente nuovi. Gaeta si interroga sul passaggio dalla metropoli tradizionale al 'villaggio globale', sollevando il dubbio se esistano figure in grado di affrontare questa enorme trasformazione con la stessa lungimiranza degli Haussmann del XIX secolo. In un mondo sempre più connesso digitalmente, la ristrutturazione dell'ambiente urbano non può ignorare il modo in cui lo spazio fisico interagisce con lo spazio virtuale, un tema che Gaeta esplora facendo riferimento agli studi di Joshua Meyrowitz. Secondo Meyrowitz (1987), i media elettronici non solo trasmettono informazioni, ma ridefiniscono profondamente gli spazi sociali in cui le persone interagiscono. Il luogo fisico perde identità, confondendosi con una molteplicità di spazi virtuali continuamente trasmessi dalla rete. Questa 'fusione dei pubblici' cambia la natura del comportamento sociale, infrangendo il legame tra luogo fisico e socialità e generando un nuovo tipo di 'spazio ibrido'. Gaeta sostiene che l'urbanistica deve aggiornarsi per affrontare la sfida di progettare spazi che uniscano le dimensioni fisiche e digitali, creando uno 'spazio ibrido'. Questa trasformazione rende sfu-

mate le distinzioni tra pubblico e privato, aperto e chiuso, e soprattutto tra interno ed esterno. L'urbanistica del futuro dovrà affrontare il problema di come gestire questa fusione, ma anche di come pensare e progettare spazi che siano allo stesso tempo fisici e digitali, adattandosi alle esigenze di una società 'liquida' descritta da Zygmunt Bauman (2000). Un compito arduo che richiederà strumenti nuovi, in grado di rispondere a dinamiche di continuo cambiamento.

Altra prospettiva interessante riguardo alle sfide che la trasformazione digitale lancia all'urbanistica è quella avanzata da Carlos Moreno (2024), che propone una riflessione diversa ma complementare, concentrandosi sul ruolo delle nuove tecnologie, in particolare dell'AI, nella creazione di città a misura d'uomo. Se la tecnologia è spesso vista come un mezzo per aumentare la disconnessione e la solitudine, Moreno si pone la sfida di utilizzare l'iper-connessione come strumento per rafforzare i legami sociali nei quartieri e migliorare la qualità della vita urbana. Il suo concetto di *civic tech* promuove l'idea che le nuove tecnologie possano contribuire alla creazione di una città vivente, dove l'accesso a beni e servizi essenziali è garantito dalla capacità di utilizzare tecnologie digitali come la geolocalizzazione, gli open data e la cartografia digitale. Moreno suggerisce che l'uso delle tecnologie digitali può trasformare l'economia urbana, passando da una gestione passiva dei dati alla creazione

di una cultura digitale che favorisca l'economia circolare, la sostenibilità ambientale e la partecipazione democratica. La digitalizzazione dei servizi, come la telemedicina, la mobilità multimodale e i trasporti on demand, non solo rende le città più efficienti, ma può anche migliorare la qualità della vita, in particolare nelle aree urbane densamente popolate. L'obiettivo, secondo Moreno, è quello di progettare una città in cui ogni abitante possa accedere facilmente a funzioni sociali indispensabili, migliorando l'integrazione e creando uno spazio di vita che rispetti i principi di sostenibilità e inclusività.

Le riflessioni di Gaeta e Moreno pongono in evidenza le sfide cruciali che l'urbanistica contemporanea deve affrontare nel contesto della digitalizzazione e dell'ibridazione degli spazi. Le città del futuro non possono più essere concepite come entità statiche, ma devono evolversi in spazi dinamici in grado di integrare la dimensione fisica con quella virtuale. La sfida è progettare spazi che possano garantire un equilibrio tra innovazione tecnologica e inclusione sociale, senza sacrificare il benessere collettivo. L'urbanistica del XXI secolo dovrà adottare un approccio che, se da un lato valorizza le potenzialità della tecnologia, dall'altro non dimentica l'importanza dei legami umani e della qualità della vita nelle città.

5. AI e analisi patrimoniale del territorio

Bisogna però spingerci anche oltre quanto finora affermato, in un campo che vuole riconiugare, ancora più nel profondo, l'approccio di

una *mente relazionale* accoppiata strutturalmente all'ambiente fenomenologico rispetto ai nuovi strumenti che l'informatica ci mette a disposizione. Il tentativo è quello di utilizzare le nuove tecnologie per approfondire l'analisi patrimoniale del territorio. Il concetto di patrimonio territoriale si è andato affermando negli ultimi trenta anni soprattutto grazie alla scuola territorialista guidata da Alberto Magnaghi (1941-2023). Rimandiamo ad altri testi (vedi per esempio Saragosa, 2016) una trattazione compiuta del concetto di patrimonio territoriale, ma non possiamo sottacere che esso sia costituito da relazioni, *invarianti topologiche*, che ne garantiscono l'identità. Questi rapporti sono quella piegatura dello spazio che racconta proprio di quella cosa e non di altre (proprio di quell'oggetto che chiamiamo tavolo, e di quell'altro che chiamiamo seggiola). Questi rapporti possono essere asciugati a restituire una specifica topologia che contiene tutto ciò che permette alla cosa stessa di essere riconosciuta. Nel mondo che ci circonda (e in cui il nostro corpo è immerso), vi sono, stratificati e imbricati tra loro, molti enti riconoscibili da quelle piegature dello spazio. Questa stratificazione rappresenta, come dice Maurice Merleau-Ponty (1908-1961) (Merleau-Ponty, 2012) la *carne del mondo: la carne di cui parliamo non è la materia. Essa è l'avvolgimento del visibile sul corpo vedente, del tangibile sul corpo toccante, che è attestato specialmente quando il corpo si vede e si tocca nell'atto di vedere e di toccare le cose, cosicché, simultaneamente, come tangibile discende fra di esse, come toccante le domi-*

na tutte e ricava da se stesso questo rapporto, e anche questo doppio rapporto, per deiscenza o fissione della sua massa. Questa carne non è caos, ma trama che ritorna in sé e si accorda con se stessa. E questa trama, che connette e che ci avvolge, è appunto il patrimonio. Questo patrimonio è lo sfondo alla nostra immersione nel mondo della vita, è ciò che rende la nostra mente relazionale complessa, stimolata da tutti i propri centri sensoriali.

L'AI può aiutare a rendere più complessa la lettura delle *invarianti topologiche* che sostengono il disvelarsi del patrimonio territoriale proprio grazie alla sua capacità di disvelare le *ontologie* che soggiacciono agli enti che compongono la trama del mondo. Come le tecnologie legate ai sistemi informativi territoriali (GIS) hanno dato un impulso notevole allo studio del territorio soprattutto nei campi dell'analisi ambientale (relazioni fra campi disciplinari e studio dei flussi di materia-energia), così le nuove tecnologie informatiche possono dare potenza all'analisi dei caratteri morfologici delle identità territoriali.

Sono proprio gli immensi depositi di memorie, che una AI può gestire, che potrebbero aiutare a costruire mappe sempre più complesse dei caratteri identitari territoriali. Infatti, ormai i *server* distribuiti nel mondo sono carichi di immagini commentate sulle qualità dello spazio. Configurazioni (caratterizzate dalle proprie *invarianti topologiche*) che generano una percezione emozionale possono essere identificate e riconosciute. Lo scavo di questi giacimenti e il filtraggio dei materiali di scavo con una lettura

esperta dei caratteri invarianti che generano il valore dei luoghi, può rendere quindi possibile la definizione di mappe di qualità diffusa. Nel tentativo di spazializzare queste qualità, può giocare un ruolo fondamentale la tecnica di valutazione delle immagini mediante filtri neurali dell'AI. Le qualità invarianti caratteristiche delle configurazioni spaziali potrebbero essere riconosciute mediante l'analisi di quelle immagini ormai diffusamente accumulate nelle memorie della rete mondiale. Si tratta quindi di programmare una AI in modo tale da riconoscere le configurazioni dello spazio (mediante le proprie *invarianti topologiche*) e di agire all'interno dei depositi informazionali (*big data*) mediante operazione di *data-mining*. Strumenti quest'ultimi da educare mediante un *deep learnig* capace di riconoscere gli elementi caratterizzanti l'identità del patrimonio territoriale. Ovviamente la costruzione delle mappe può lavorare anche in senso inverso, mettendo in evidenza le parti di territorio in cui si nasconde disagio percettivo e funzionale, ovvero quelle parti in cui domina la percezione dell'insicurezza o in cui esiste un reale luogo insicuro (criticità). Questa rappresentazione può dare un contributo immediato per l'individuazione delle azioni tese alla risoluzione del problema, cioè permettere la definizione degli interventi necessari ad una riconfigurazione spaziale capace di rigenerare le aree in cui dominano tali aspetti negativi. I risultati di una tale impresa metteranno in valore soprattutto le qualità locali del patrimonio territoriale, qualità in cui la comunità di abitanti potrà rico-

noscersi e costruire nuova interazione sociale e incarnata.

6. Alcune riflessioni finali

Le riflessioni condotte nel corso della trattazione evidenziano come la digitalizzazione dell'esperienza umana non rappresenti una semplice evoluzione tecnica, ma una profonda trasformazione ontologica e politica che investe direttamente il ruolo dell'urbanistica contemporanea.

In primo luogo, emerge come i meccanismi di dominio si siano raffinati, passando dalla coercizione disciplinare sui corpi a una 'psicopolitica' digitale che sfrutta la connessione volontaria e la libertà percepita per ottimizzare la sorveglianza e l'estrazione di valore comportamentale. Questo processo comporta un rischio concreto di smaterializzazione dello spazio pubblico e di frammentazione sociale, dove la massa critica si dissolve in 'sciami digitali' e la casa *smart* diviene una prigione confortevole che inibisce la resistenza politica.

Tuttavia, il testo argomenta che la risposta a tale deriva non risiede in un rifiuto luddista della tecnologia, bensì nella rivendicazione di una mente 'relazionale' e 'incarnata', che necessita dell'interazione fisica con l'ambiente per il proprio sviluppo cognitivo ed emotivo. La sfida per l'urbanistica del XXI secolo è dunque duplice: da un lato, gestire la natura ormai 'ibrida' dello spazio – simultaneamente fisico e digitale – come suggerito da Gaeta e Meyrowitz; dall'altro, indirizzare le potenzialità della *civic tech* e dell'AI per rafforzare i legami di

prossimità e l'accessibilità ai servizi, secondo il modello di città vivente proposto da Moreno. In conclusione, si delinea una prospettiva operativa in cui l'AI viene piegata alle esigenze del 'patrimonio territoriale'. Anziché fungere esclusivamente da dispositivo di controllo predittivo, l'AI può diventare uno strumento ermeneutico potente: attraverso il *data-mining* e l'analisi delle immagini depositate nella rete, è possibile mappare le 'invarianti topologiche' e le qualità percettive dei luoghi, identificando sia i valori identitari che le criticità spaziali. Solo riconquistando questa dimensione materiale e qualitativa attraverso i nuovi strumenti tecnici sarà possibile garantire un nuovo diritto alla città, trasformando l'infosfera da luogo di alienazione a infrastruttura per una rinnovata simbiosi tra l'uomo e la 'carne del mondo'.

Bibliografia

- Baudrillard J. 1976, *La società dei consumi. I suoi miti e le sue strutture*, Il Mulino, Bologna.
- Bonomi A., & Masiero R. (2014), *Dalla smart city alla smart land*, Marsilio Editori, Roma.
- Bauman Z. 2000, *Modernità liquida*, Laterza, Bari.
- Conway E. 2023, *La materia del mondo. Una storia delle civiltà in sei elementi*, Marsilio, Venezia.
- Cugurullo F., Caprotti F., Cook M., Karvonen, A., McGuirk P., & Marvin S. (2024), *The rise of AI urbanism in post-smart cities: A critical commentary on urban artificial intelligence*, *Urban studies*, 61(6), 1168-1182.
- Cugurullo F., Caprotti F., Cook M., Karvonen, A., McGuirk P., & Marvin S. (Eds.). (2023), *Artificial intelligence and the city: Urbanistic perspectives on AI*, Taylor & Francis, New York.

- Damasio A. 2003, *Alla ricerca di Spinoza. Emozioni, sentimenti e cervello*, Adelphi, Milano.
- Damasio A. 2012, *L'errore di Cartesio. Emozione, ragione e cervello umano*, Adelphi, Milano.
- Flusser V. 2009, *Immagini. Come la tecnologia ha cambiato la nostra percezione del mondo*, Fazi Editore, Roma.
- Foucault M. 1991, *La volontà di sapere*, Feltrinelli, Milano.
- Gaeta L. 2024, *Il primo libro di urbanistica*, Einaudi, Torino.
- Gallagher S., Zahavi D. 2022, *La mente fenomenologica. Filosofia della mente e scienze cognitive*, Raffaello Cortina Editore, Milano.
- Greenfield, A. (2013), Against the Smart City: A Pamphlet, The City is Here to Use, Do projects.
- Habermas J. 2005, *Storia e critica dell'opinione pubblica*, Laterza, Roma-Bari.
- Han B-C. 2023, *Infocrazia, Le nostre vite manipolate dalla rete*, Einaudi, Torino.
- Huxley A. 2011, *Il mondo nuovo. Ritorno al mondo nuovo*, Oscar Mondadori, Milano.
- Luusua A., Ylipulli J., Foth M., & Aurigi A. (2023), Urban AI: Understanding the emerging role of artificial intelligence in smart cities, *AI & society*, 38(3), 1039-1044.
- Iapaolo F., & Lynch C. R. (2025), Rethinking urban AI: a critical posthumanist perspective on intelligence, autonomy, and agency, *Urban Geography*, 1-23.
- Lefebvre H. 2014, *Il diritto alla città*, Ombre corte, Verona.
- Lucaoli A. (2020), *Ripensare l'abitare smart. Il contributo del paradigma della giustizia spaziale*, Orthotes, Napoli.
- Manzotti R. 2019, *La mente allargata. Perché la coscienza e il mondo sono la stessa cosa*, Il Saggiatore, Milano.
- Merleau-Ponty M. 2012, *Fenomenologia della percezione*, Bompiani, Milano.
- Meyrowitz J. 1987, *Oltre il senso del luogo*, Baskerville, Bologna.
- Moreno C. 2024, *La città dei 15 minuti. Per una cultura urbana democratica*, add editore, Torino.
- Murzio A., Spallino C. 2019, *La dittatura degli algoritmi. Il dominio della matematica nella vita quotidiana*, DIARKOS, Santarcangelo di Romagna.
- Orwell G. 2011, *1984*, Mondadori, Milano.
- Palmini O., & Cugurullo F. (2023), Charting AI urbanism: conceptual sources and spatial implications of urban artificial intelligence, *Discover Artificial Intelligence*, 3(1), 15.
- Patron G. 2022, *Inferno digitale. Perché internet, smartphone e social network stanno distruggendo il pianeta*, Luiss University Press, Roma.
- Quintarelli S. 2020, *Intelligenza artificiale. Cos'è davvero, come funziona, che effetti avrà?*, Bollati Boringhieri, Torino.
- Saragosa C. 2016, *Il sentiero di Biopoli. L'empatia nella generazione della città*, Donzelli, Roma.
- Siegel D.J. 2017, *I misteri della mente. Viaggio al centro dell'uomo*, Raffaello Cortina Editore, Milano.
- Söderström O., Paasche T., & Klauser F. (2020), Smart cities as corporate storytelling, in *The Routledge companion to smart cities*, Routledge, pp. 283-300.
- Sporns O. 2016, *Networks of the Brain*, The MIT Press, Cambridge.
- Trencher G. (2019), Towards the smart city 2.0: Empirical evidence of using smartness as a tool for tackling social challenges, *Technological Forecasting and Social Change*, 142, 117-128.
- Vanolo A. 2014, Smartmentality: The smart city as disciplinary strategy, *Urban studies*, 51(5), 883-898.
- Zuboff S. 2021, *Il capitalismo della sorveglianza. Il futuro dell'umanità nell'era dei nuovi poteri*, Luiss University Press, Roma.

Ricerche
Research

Pianificazione intelligente nell'era dell'incertezza: decisioni, conoscenza, complessità e tecnologie emergenti

Smart Planning in the Age of Uncertainty: Decisions, Knowledge, Complexity, and Emerging Technologies

Domenico Camarda

DICATECH, Politecnico di Bari
domenico.camarda@poliba.it
orcid.org/0000-0001-6311-3289

Received: September 2025 / Accepted: December 2025 | © 2025 Author(s).
This article is published with Creative Commons license CC BY-SA 4.0 Firenze University Press.
DOI: 10.36253/contest-15647

keywords

intelligent planning
artificial intelligence
knowledge-based decision-making
urban digital twins
scenario building

1. Introduzione

Negli ultimi decenni, la critica agli approcci tradizionali di pianificazione e decisione è cresciuta significativamente, riflettendo una crescente disconnessione tra teorie/metodologie formali e le realtà operative. La pianificazione spaziale, originariamente concepita come un processo razionale e lineare, si dimostra sempre più spesso inadatta a gestire la complessità e la dinamica dei contesti reali, portando a piani spesso astratti - se non irrealizzabili. I suoi limiti risultano spesso ben evidenti, so-

prattutto nella difficoltà di definire e poi raggiungere obiettivi condivisi in ambienti tipicamente caratterizzati da interessi e bisogni diversificati e mutevoli.

Con l'avvento delle tecnologie emergenti, l'Intelligenza Artificiale (AI) sembra porre nuove prospettive per la pianificazione, offrendo strumenti avanzati per l'analisi, l'interpretazione, la gestione dei dati e il supporto decisionale. Certamente, nonostan-

Traditional spatial planning shows increasing limitations in addressing the complexity and dynamism of real contexts, often resulting in plans that are abstract and difficult to implement. The advent of emerging technologies, in particular Artificial Intelligence (AI), offers new perspectives to manage complex data and support informed decisions, but also shows risks of amplification of inequalities and persistence of existing biases. The text explores these issues in a framework of historical and theoretical

evolution of planning, highlighting the dialectic between traditional top-down models and the need for multi-agent and knowledge-based approaches, more collaborative and adaptive. Through the analysis of experiments with generative AI and applied ontologies, some potential and limits of current technologies in the construction of future scenarios and in the management of diffused knowledge are outlined. A central epistemological challenge emerges, consisting in integrating advanced tools with inclusive participatory processes, shifting the emphasis towards collaborative knowledge structures capable of responding to the changing needs of communities and promoting more equitable and sustainable decisions.

te le potenzialità, l'AI presenta anche rilevanti aspetti critici - come la sua dipendenza da dati e modelli preesistenti, che possono non riflettere pienamente la complessità e la mutevolezza delle situazioni reali. In un processo decisionale inclusivo e a base cognitiva, ciò rischia di amplificare le disuguaglianze, perpetuare bias esistenti e prefigurare scenari inappropriati.

La sfida, quindi, non è solo tecnologica ma anche epistemologica: come utilizzare l'AI e altre tecnologie emergenti per costruire una

conoscenza collettiva e dinamica, capace di adattarsi ai cambiamenti e di promuovere decisioni più eque e sostenibili? La difficile risposta dipende dalle capacità di combinare l'uso di strumenti avanzati con la inclusione fine delle comunità, garantendo che le decisioni siano informate, condivise e attuabili. Questo potrebbe richiedere un importante ripensamento delle pratiche di pianificazione, spostando l'enfasi da modelli top-down a strutture modellistiche più collaborative e adattive, capaci di integrare prospettive diverse e di rispondere alle esigenze in evoluzione delle comunità. In questa sede non si propone un modello normativo o prescrittivo, ma si indica la necessità di una revisione critica delle pratiche, fondata su considerazioni epistemologiche e sulla crescente distanza tra strumenti formali e dinamiche operative reali.

In questo quadro generale, il testo oltre la presente introduzione si compone di altre quattro sezioni. La seconda esplora una evoluzione storica e teorica dei piani spaziali, evidenziando la dialettica tra modelli tradizionali e dinamicità di comportamenti e bisogni. La terza affronta la complessità delle decisioni collettive, sottolineando l'importanza della conoscenza collaborativa nelle sfide reali della pianificazione, con un focus specifico sull'esempio dell'Italia. La quarta sezione esplora le potenzialità delle tecnologie emergenti nella gestione della conoscenza diffusa e il supporto alla realizzazione dinamica di strategie di pia-

nificazione possibilmente inclusive dei bisogni mutevoli delle comunità, evidenziando alcune potenzialità e limiti dell'uso di intelligenza artificiale. Brevi riflessioni concludono il testo, riassumendo i punti chiave e riflettendo sulla necessità di approcci innovativi e sinergici per la pianificazione e la decisione spaziale.

2. Tra storia e teoria, le evoluzioni di un piano debole

Nelle lezioni tenute agli studenti dei corsi di pianificazione territoriale negli anni 1980-90, il professor Giovanni Maciocco anticipava una linea di riflessione che si andava sviluppando in quei tempi (Maciocco, 1991). Essa parlava di una crescente e dirompente separazione tra gli strumenti formali della pianificazione e la realtà della loro implementazione. Il piano ne appariva sempre più delegittimato, orientandosi a diventare un mero dipinto astratto, se non uno strumento di pressione politica o di beneficio per singoli privilegiati, a svantaggio della più ampia collettività. Da questo, appunto, la sua continua delegittimazione. Successivamente, questa presa di coscienza si è evoluta e puntualizzata in molti casi. Ne hanno sviluppato ragionamenti strutturati e puntuali lo stesso Maciocco ed Enzo Scandurra (2001), per citare i referenti dei nostri studenti, e naturalmente i grandi studiosi internazionali da John Forester (1998) a John Friedman (1993), passando per Patsy Healey (1997) e tanti altri. Più recentemente ha avuto una certa eco un

editoriale di Mike Batty di UCL, che ha recuperato in parte ragionamenti di questo tipo per segnalare la preoccupante deriva di separazione tra teoria e pratica in ambito di pianificazione spaziale (Batty, 2022). A ben vedere, peraltro, questa linea di riflessione pare avere origini ben più lontane.

Se solo pensiamo al dibattito attorno all'approccio razionale nella teoria delle decisioni degli anni 1950 e 1960, troviamo un inquadramento più strutturato di una parte consistente di queste problematiche. Gli economisti del secolo scorso si concentravano infatti sulla necessità di elaborare modelli per poter aiutare decisioni che perseguissero obiettivi positivi di collettivo beneficio se non di profitto (McLoughlin, 1969; Nozick, 1993). È noto che Herbert Simon (1955) mise in guardia sulle necessità di conoscenza minuta e diffusa dei bisogni e dei comportamenti quando la decisione sia orientata a benefici collettivi e non individuali. Conoscenza che peraltro include la mutevolezza in termini temporali, testimoniando la continua evoluzione dei bisogni e dei comportamenti di una comunità che è soggetta a contingenze e a continue dinamiche evolutive - come per esempio quelle tecnologiche. Un piano strutturalmente orientato al futuro di medio o lungo periodo si addossa tutte le responsabilità di questo tipo.

Spesso gli autori di riflessioni sulla teoria della pianificazione si sono concentrati sulle preesistenze culturali di ogni contesto nazionale

rispetto alla reale possibilità di convergere in maniera diffusa, se non unanime, verso obiettivi condivisi per un futuro lontano (Sandercock, 1998; Hall, 1999). Si tratta di un argomento scivoloso, con rischi di retorica a ogni angolo. Tuttavia la condivisione delle regole che una comunità si attribuisce per poter rendere realistico questo percorso ad ostacoli rappresenta evidentemente una condizione critica verso quel nucleo di obiettivi. Inoltre, il riconoscimento di queste regole come basi essenziali non è condizione automaticamente innata in ogni comunità. Autori specialmente nel campo dell'economia evidenziano per esempio che i contesti con più presenza di povertà diffusa sono meno propensi alla condivisione di regole comuni, giacché hanno meno accesso a risorse e a informazioni. Si vedano in questo caso le seminali riflessioni di Stiglitz che gli valsero il premio Nobel per l'economia (Stiglitz et al., 2008). Quindi certamente esiste un bisogno di regole per garantire la reale implementabilità di futuri condivisi, ma nasce d'altro canto l'esigenza di condivisione attorno alla costruzione di queste regole - il che rappresenta uno sforzo spesso notevolmente complesso.

3. Complessità, interazione cognitiva, sfide

3.1. Complessità e razionalità nelle decisioni collettive

Certo questa condizione di complessità dipende probabilmente da radici di tipo anche culturale, come prima sottolineato, ma soprattutto

da variabili e indicatori di conoscenza verso comportamenti e bisogni variegati nello spazio e nel tempo. Dopo l'interesse suscitato dalla riscoperta dell'approccio razionale nella teoria delle decisioni, infatti, è proprio su queste variabili che si appunta l'attenzione degli autori che tentavano di ricucire il modello razionale in termini più adatti ai contesti decisionali collettivi (Arrow, 1963; Simon, 1982). Quanto questi studiosi si siano misurati con questa problematica è evidente nella paradigmatica riflessione di John Forester sui diversi limiti situazionali legati alle decisioni nei contesti collettivi (1984).

Anche sforzi verso modelli più operativi sono stati messi in atto, introducendo approcci ibridi di razionalità limitata (Lindblom, 1959; Etzioni, 1967).

Un percorso misto di razionalità incrementale a stadi nel breve periodo e razionale puro nel lungo periodo precorre in realtà gran parte del dibattito sulla pianificazione strategica che dagli anni Settanta è poi arrivata ai giorni nostri (Friend, Jessop, 1969; Friend, Hickling, 1997). Come noto, si tratta fondamentalmente di approcci per strategie sviluppate a partire da considerazioni soprattutto esperte nel tempo attuale, verso il raggiungimento di finalità future. È evidente quanto la forza propulsiva che spinge al raggiungimento di obiettivi futuri sia garantita dalla attualità, dal ruolo svolto da manager e comunità insieme, nel momento di ideazione della strategia di piano. È altrettan-

to evidente che la forza propulsiva è tanto più potente quanto più condivise sono linee guida, regole e principi che animano lo spirito della comunità. Non è certo un caso che le esperienze di pianificazione strategica di questo tipo abbiano avuto origine nel contesto britannico dalla lunga tradizione democratica del bene comune (Burns, 2004). Il modello però resta comunque piuttosto attrattivo in generale, perché consente di legare conoscenza e opinioni attuali ad un processo di raggiungimento di obiettivi di benessere futuri.

Molto di questo ragionamento è evidentemente radicato in quella prospettiva incrementale mista di derivazione razionalista. Come ricordato, questa prospettiva nasce dal tentativo di superamento dei limiti dell'approccio razionale, introducendo fattori di conoscenza di comportamenti e bisogni presenti e futuri. Tuttavia nel passaggio oltre frontiera del modello strategico verso il resto del pianeta l'elemento critico della conoscenza viene emulato con poca consapevolezza del tradizionale contesto di condivisione sociale, comunitaria da cui era scaturito (Albrechts et al., 2003). D'altra parte, l'evidenza storica degli approcci strategici nelle decisioni nel resto dell'Europa aveva altre e antiche radici, per esempio in ambito militare dove l'origine del termine si colloca sin dalla antica civiltà ellenistica. L'ispirazione è quindi di tipo fondamentalmente dirigistico, tradizionalmente top-down e ignara del ruolo centrale della conoscenza diffusa, in un contesto di decisione col-

lettivo. Nei processi di pianificazione strategica gemmati dall'originale tronco nordeuropeo, il ruolo della condivisione di prospettive e strategie di sviluppo assume in realtà una rilevanza ex-post. L'interesse scaturisce soprattutto dalla ricerca di consenso, in generale per obiettivi di efficacia implementativa oppure (alcuni dicono soprattutto) in termini di gestione del potere (Susskind, Cruikshank, 1987; Kunzmann, Wegener, 1991; Forester, 1998).

3.2. *Conoscenza collaborativa e futuri condivisi*

Ma i decenni di fine secolo scorso sono caratterizzati da elementi di riflessione sulla problematica ambientale, sull'insorgere di situazioni di complessità ambientale e socioeconomica difficili da gestire attraverso strategie che non coinvolgano strutturalmente una conoscenza di comunità allargata. Resta difficile l'adattamento di un processo fondamentalmente nato in ambiti di conoscenza esperta, formale, disciplinare alle non sempre formalizzabili, quantificabili o addirittura ignote sfumature di questa complessità (Fischer, 2000). A questo si aggiunge la difficoltà di definire obiettivi strategici condivisi, come già messo in guardia ormai da decenni dall'approccio razionale alle decisioni collettive (Etzioni, 1967; Habermas, 1984). In questo contesto si sviluppano metodologie che tendono a orientare questi modelli di pianificazione strategica verso una dimensione allargata di conoscenza. Vi trovano posto probabilmente per la prima volta tentativi di

strutturazione di questa conoscenza multidimensionale e dinamica, con l'obiettivo di trarne una sostanza qualitativa/quantitativa di dati cognitivi emergenti dal basso. Le linee di ricerca che approfondiscono queste metodologie sotto l'etichetta di *futures studies* (Bell, 2003) esplorano la possibilità di realizzare ambienti di apprendimento collaborativo, di scambio di conoscenza, per la costruzione di strategie orientate a futuri condivisi a partire da gruppi di comunità. Sono note in questo quadro le esperienze sviluppate da studiosi *futuristi* (Khakee, Strömberg, 1993; Inayatullah, 2008; Sardar, 2010).

In questo nuovo contesto di pianificazione, la dimensione cognitiva collaborativa si propone come carattere strutturante per la costruzione di strategie di sviluppo o di assetto del territorio di una comunità. Essa offre una pagina nuova alle prospettive della pianificazione spaziale. Queste arene collaborative e orientate alla costruzione di strategie future hanno il merito di definire finemente percorsi di identificazione di obiettivi lontani nel tempo eppure condivisi. Infatti, l'approccio incrementalista misto, che cercava di conservare la gestibilità di decisioni utilizzando il modello razionale, aveva l'elemento vincolante di dover identificare un obiettivo futuro condiviso. Si trattava di un vincolo pesante in quanto futuri condivisi per una comunità non sono facili da identificare, in presenza di bisogni tipicamente differenziati e dinamici (Etzioni, 1967, 2014).

Peraltro, come detto precedentemente, la attitudine di una comunità verso regole condivise non è sempre un carattere innato né comune (Healey, 1997; Sandercock, 1998). Con un percorso multiagente, interattivo, programmato e strutturato questi obiettivi futuri appaiono ora più individuabili, con diffusa consapevolezza e accordo. Accordo 'soddisfacente' e non ottimale, per dirla alla Simon (1955), ma più diffusamente riconosciuto dalla comunità.

D'altra parte, la costruzione delle strategie orientate a tali obiettivi, pur anch'essa cooperativa, risente giocoforza delle contingenze, degli ostacoli, delle opportunità contestuali - spaziali e temporali. L'esperienza dei *future workshops* (Jungk, Mullert, 1996), per esempio, ci riporta linee strategiche consapevoli di stati e dinamiche in atto, ma pur nel presente ignare di possibili evoluzioni contingenti o future. Nei casi dal nostro stesso gruppo affrontati nel Maghreb ad inizio millennio, la Primavera Araba rispecchiava speranze e prospettive nei percorsi di interazione di piano a Tunisi, ma non prevedeva p.es. gli sviluppi ostili che si sarebbero poi verificati (Khakee et al., 2002b). Seguendo lo stesso filo critico di Lindblom, si potrebbe vedere in quell'arguto stratagemma di ricerca di obiettivi di lungo periodo la fallacia del considerare la stessa strategia come altrettanto stabile nel tempo. Essa infatti mal si presta agli assiomi di razionalità in quanto fragile rispetto alla dimensione dinamica delle situazioni. Una linea di costruzione strategica

rintracciata e rimodulata periodicamente consentirebbe di collimare la contingenza con gli obiettivi prefissati - in linea con la cosiddetta politica del *muddling through* (Lindblom, 1959; Forester, 1984).

3.3. *Le sfide della pianificazione intelligente, in Italia e oltre*

Oggi, un decisore pubblico che si impegni nella redazione di un piano adatto a identificare obiettivi di sviluppo condivisi con la comunità trova davanti a sé sforzi notevolmente complessi. Da un lato esiste la necessità di delineare obiettivi futuri cognitivamente costruiti e condivisi con la comunità. Con l'approccio suddetto, i futuri possono emergere come risultato consapevole di un coinvolgimento collettivo, magari riducendo il rischio di realizzare dipinti astratti di tipo top-down scarsamente implementabili. Tuttavia la conoscenza che contribuisce a costruire questi obiettivi e le strategie per raggiungerli è mutevole, essendo generata da dinamici bisogni e comportamenti della comunità specialmente nel lungo periodo. Di fronte a questa incerta efficacia politico-gestionale, non fa meraviglia la riluttanza pianificatoria in alcuni contesti nel pianeta - quello italiano ne soffre ormai da decenni (Clementi et al., 1996; Properzi, Ombuen, 2020). Nelle 8000 municipalità italiane, quei sindaci illuminati che riescono con fatica ad avviare percorsi di piano attraverso scenari futuri, che comportano un dispiego di tempo e risorse no-

tevole, spesso riescono a utilizzarne i risultati solo come leva di azione politica contingente. L'attività effettiva di pianificazione invece continua spesso a mostrarsi un esercizio di applicazione discrezionale di politiche e decisioni di tipo top-down (p.es. Borri et al., 2020). Le (infrequenti) esperienze sviluppate sul campo, riguardanti la messa in atto del processo di costruzione di strategie orientate a un dato scenario futuro, restano così una specie di snapshots, di istantanee incoerenti in condizioni socioambientali ed economiche mutate. Davanti a questa situazione è evidente che quegli stessi amministratori volenterosi finiscono per essere un numero esiguo, di fronte ad una soverchia presenza di quadri di pianificazione essenzialmente formali, disegnati e privati di modelli di supporto operativo.

Al contrario, abbastanza paradossalmente, linee di ricerca, didattica e tanta pubblicistica di approccio tradizionale continuano a prosperare e a generare per la pianificazione spaziale prospettive vaghe e aggregate di difficile ausilio operativo - specialmente in Europa meridionale (Kunzmann, Koll-Schretzenmayr, 2015; Sharifi et al., 2023). Si tratta di approcci disciplinarmente orientati, p.es. normativi, o descrittivi, o market-led, o mutuanti 'buone pratiche' i quali, pur coerentemente argomentabili nei domini di origine (p.es. giurisprudenziali, finanziari, geografici) vengono estensivamente introitati in altri domini scientifici con pochi interrogativi di coerenza e *reflexivity in action*

scientifica (Friedmann, 1993; Schön, 1993; Scandurra, 2001). Un esempio sono le scuole italiane di architettura e ingegneria, storiche pur controverse fucine di planners, nelle quali corsi, studi e ricerche su architetture di supporto decisionale operativamente orientate vengono svolti da un manipolo statisticamente irrilevante di studiosi. Quelle scuole continuano dunque a declinare i temi di piano e gestione del piano veicolando concetti ad esse spesso alieni, largamente abdicando alle proprie prerogative tecniche/tecnologiche – e così privando il settore e le arene operative di un contributo invece essenziale (ANVUR, 2017; Olesen, 2018; ANVUR, 2022; Kennora, 2023). Qualcuno si è pure interrogato sull'etica di atteggiamenti di questo tipo, sulle sovrastrutture istituzionali che continuano a offuscare l'evidenza delle difficoltà implementative mantenendo in vita sistemi di ricerca e di azione di mera forma politica (Healey, 1997; Mazza et al., 2012; Alexander, 2016).

Invero, da un punto di vista strettamente scientifico, la realtà comunque mostra incombente la forte esigenza di una ricerca sostantiva su modelli e architetture operativamente orientati. Gli attuali contesti territoriali richiedono attività di pianificazione e gestione spaziale non reticenti verso una conoscenza complessa. Anche perché la domanda di sostegno, di supporto verso decisioni informate da parte di manager e amministratori pubblici persiste ed è sempre rilevante (Pelzer, 2017; Poli et al., 2024).

4. Tecnologie emergenti e pianificazione intelligente

Questa sezione approfondisce le questioni introdotte nelle parti precedenti, collocando le tecnologie emergenti entro un contesto caratterizzato da dinamiche conoscitive sempre più articolate e da una crescente difficoltà nel ricondurre bisogni e comportamenti entro percorsi decisionali informati. In questo scenario, gli strumenti AI-based appaiono non come semplici innovazioni tecniche, ma come modalità nuove di organizzazione, lettura e trattamento della conoscenza distribuita. Senza evocare funzioni sostitutive o automatismi risolutivi, essi possono agevolare la gestione della frammentazione di conoscenza, della variabilità situazionale e delle riformulazioni iterative che caratterizzano sempre più spesso i processi decisionali di piano.

4.1. Tecnologia, partecipazione, nuove prospettive di conoscenza diffusa

Da questo punto di vista, dell'approccio incrementale misto di Lindblom ed Etzioni resta l'essenziale importanza del percorso di adattamento delle strategie alle mutevolezze situazionali. Si tratta di una posizione scientifica interessante e oggi ancora più intrigante per molti versi. Infatti, la molteplicità e la molteplicità di bisogni e comportamenti appaiono oggi meno incomputabili di quanto all'epoca sottolineato dal dibattito sull'approccio razionale. Da un lato un più strutturale riferimento

alla teoria della probabilità nella gestione della conoscenza è oggi parte strutturante di molteplici attività operative. Inoltre, le crescenti capacità computazionali offerte dalla crescita tecnologica, assieme alla sempre maggiore disponibilità di informazioni e basi di dati puntuali e diffuse presentano oggi prospettive diverse dal passato. Come già suggerito da contributi recenti (p. es. Wagg et al., 2020; Deng et al., 2021; Borgo et al., 2022), l'evoluzione di AI, digital twins e ontologie computazionali sta ampliando la capacità di rappresentare strutturalmente dati, relazioni e conoscenza in domini complessi come quello urbano. Una recente rassegna sistematica (Karabulut et al., 2024) conferma il ruolo crescente delle ontologie nella strutturazione semantica dei digital twins, evidenziando come l'integrazione tra modelli computazionali, strutture logiche e rappresentazioni dinamiche stia maturando rapidamente. Questi lavori – che integrano aspetti computazionali, semantici e dinamici – confermano e approfondiscono le linee prospettiche già richiamate nel testo, mostrando come tali strumenti possano oggi offrire un quadro più maturo e articolato rispetto alle prime sperimentazioni. Tale cornice consente di rendere più esplicite alcune connessioni tra approcci emergenti e pratiche decisionali che nel dibattito recente vengono sempre più riconosciute come rilevanti per l'azione di piano. L'allestimento di arene multiagente di scambio cognitivo può oggi giovare di interazioni so-

stenute dalle reti informatiche in remoto con crescente affidabilità. Esse possono dunque venire sviluppate in modo esteso e reiterato, secondo una prospettiva appunto incrementale, con virtualmente minimale dispiego di tempo e risorse da parte delle amministrazioni, prospettando aggiornamenti dinamici dei database cognitivi (Camarda, 2018; Borri et al., 2020; Santoro et al., 2020; Santoro et al., 2021) generati. Certamente restano questioni aperte, anche sostantive, che legano questi esercizi ai noti problemi di quantità e qualità della partecipazione civile nei processi decisionali. Restano i problemi per esempio relativi alla reale disponibilità degli agenti partecipanti, al loro assortimento cognitivo ed esperienziale, ai diversi linguaggi usati in queste arene (Khakee et al., 2002a). Tuttavia forse per la prima volta si prospetta la possibilità di gestire basi di dati, di conoscenza complessa in modo sistematico e intelligente verso la generazione dinamica di decisioni, politiche, strategie.

Di fronte alla sempre più chiara difficoltà di disegnare piani 'legittimati' di tipo tradizionale è evidente che questa può rappresentare una prospettiva realistica e più operativamente utile per le amministrazioni. Da un lato viene confermata la possibilità di identificare uno o più scenari futuri da considerare obiettivi per l'organizzazione e lo sviluppo di un territorio e una comunità. Un approccio inclusivo di agenti di conoscenza diffusi, di stakeholders, che allestisca arene tradizionali di scambio co-

gnitivo per l'identificazione di quegli obiettivi di lungo periodo, può essere sviluppato con tempi e risorse ormai relativamente concentrati. Traguardando orizzonti lontani e livelli di astrazione elevati, come sosteneva Simon, tali arene potrebbero esprimere un contesto accettabile di ottimalità razionale, formulando obiettivi caratterizzati da maggiore solidità e bassa mutabilità in tempi lunghi (Simon, 1955; Etzioni, 1967).

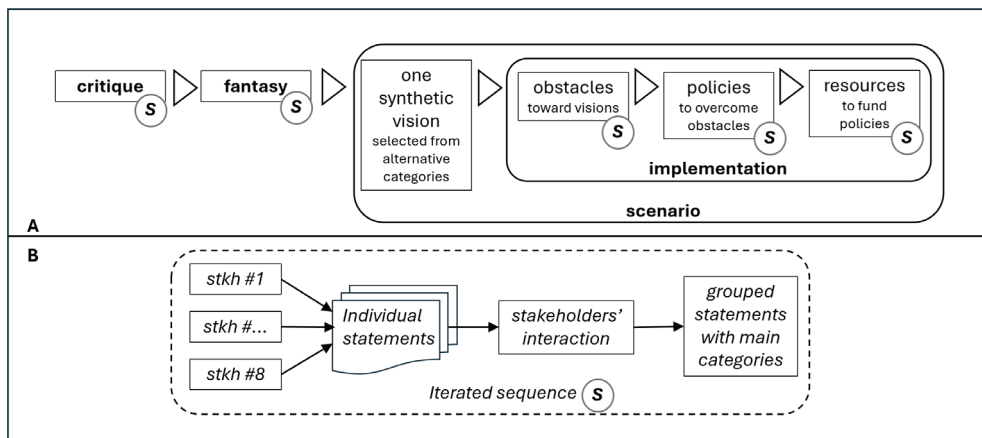
Dall'altro lato, a queste arene multiagente, che pure possono costruire strategie ad hoc per il raggiungimento di quegli obiettivi, viene attribuita la possibilità di replicare dinamicamente se stesse in tempi spazi e agenti diversi, attraverso ambienti prevalentemente virtuali e ICT-based. Questo, nei lunghi tempi tipicamente auspicati per la pianificazione di sviluppo futuro, può essere in grado di stimolare evoluzioni di conoscenza multiagente in coerenza con contingenze e variabilità situazionali e comportamentali nel tempo (Ariza-Álvarez et al., 2023). La conoscenza così dinamicamente generata può costituire supporto informato dinamico per calibrare e riorientare decisioni strategiche verso il raggiungimento degli obiettivi futuri generati nella fase precedente.

4.2. – *Modelli intelligenti per una pianificazione dinamica e complessa*

La costruzione di architetture di sistemi che consentano il supporto operativo a tale processo decisionale strategico si avvia a diveni-

re un obiettivo di ricerca scientifica molto più pressante della tradizionale riflessione sul planning. Davanti a prospettive di inquietà e costante incertezza del/dei futuro/i, infatti, le amministrazioni sono sempre meno propense a vincolare lo sviluppo tramite politiche preordinate e statiche per il lungo periodo (Simon, 1945; van Dijk, 2021). Invece, molta ricerca scientifica in questo senso appare ancora predata da approcci pianificatori tradizionali, come più sopra detto. Il dinamismo dei bisogni e delle conoscenze produce scenari complessi e incerti verso i quali i planning scholars tradizionali faticano a misurarsi con innovazioni metodologiche adeguate. Essi tipicamente propongono approcci mutuanti buone pratiche cui ispirarsi, riluttanti verso esplorazioni in termini di modelli operativi strutturali (Cottineau et al., 2024). In questo quadro, capire come definire modelli di gestione dinamica della conoscenza complessa multiagente appare sempre più una frontiera da raggiungere ormai inevitabilmente.

E in realtà oggi si prospettano diverse potenzialità utili per poter affrontare problemi di possibile strutturazione di database formali e informali, complessi. Interessanti sviluppi di queste prospettive analitiche sono per esempio fondati sulla recente evoluzione della intelligenza artificiale generativa. Quest'ultima si basa come è noto su una serie di metodologie di deep learning, di machine learning, di reti neurali (Wolfram, 2023). Anche i modelli com-



mercianti generalisti che utilizzano questo tipo di approccio sono ormai sempre più raffinati e promettenti. Per esempio il sistema Gemini di Google è in grado di effettuare elaborazioni argomentate sintetiche su testi liberi, fino a identificare e classificare punti chiave del ragionamento con molta facilità. Il sistema GPT di OpenAI d'altra parte, giunto alla soglia della quinta versione, consente ormai fini elaborazioni argomentate le quali, oltre a riuscire a conservare una buona parte della complessità originale, riportano anche riferimenti specifici e plurimi alle fonti consultate.

Il nostro gruppo di ricerca ha recentemente sviluppato alcune sperimentazioni al riguardo (Camarda, Patano, 2023; Camarda, Patano, 2024). Un esperimento in particolare ha riguardato la simulazione di un processo di *scenario building* AI-based (AISB) per il futuro di Bari utilizzando il modello GPT Copilot con ChatGPT di OpenAI. I partecipanti sono stati dalla AI simulati, rappresentando diverse categorie di stakeholder, tra cui agricoltori, artigiani, imprenditori, ambientalisti, bambini, anziani e altri, che interagiscono attraverso cicli di inte-

razioni strutturate. L'AI ha così articolato visioni generate per il futuro di Bari, identificando ostacoli da superare e proponendo strategie operative (fig.1).

I risultati dell'esperimento hanno rivelato scenari futuri apparentemente coerenti dal punto di vista logico, formale e sostanziale. L'AI ha mostrato la sua notevole capacità di elaborare grandi quantità di dati, coprendo una vasta gamma di tematiche, esibendo estreme rapidità entro un processo partecipativo invece tradizionalmente lungo e dispendioso, con un rilevante potenziale per la costruzione di scenari dinamici in tempo reale, adattandosi a nuove informazioni e a cambiamenti di contesto. Tuttavia, l'AISB ha mostrato anche limiti significativi, legati a una conoscenza non realmente interattiva e multiagente, ma simulata e basata su informazioni preesistenti, formali, documentali, private delle esperienze e opinioni degli stakeholder reali. Ciò si è riverberato in una basilica inabilità a generare nuove conoscenze o comprendere le sfumature del contesto locale, adombrando rischi di scenari manipolabili e tendenziosi, o comunque scollegati dalla realtà at-

Layout di un approccio AISB (A), con la sequenza iterativa applicata per ogni fase (B)

Fig. 1

Fonte: Camarda, Patano, 2024.

tuale o futura di Bari (Camarda, Patano, 2024). Come altre sperimentazioni in campi applicativi, anche i nostri esperimenti sembrano mostrare che non è ancora possibile una gestione davvero autonoma del processo di interpretazione dei dati testuali, essendo spesso necessarie reiterate interazioni adattative col sistema da parte dell'analista (Giray, 2023; White et al., 2023). Peraltro il funzionamento della intelligenza artificiale generativa, notoriamente basata su un modello di tipo stocastico, computazionalmente statistico-probabilistico, si mostra reticente verso la ricerca di espliciti nessi cognitivi tra concetti, che quindi rende difficile la logica interpretazione di processi complexity-based (Wolfram, 2023). Nonostante tali limiti, l'uso di strumenti computazionali avanzati può sostenere i processi collaborativi, soprattutto quando occorra mettere in relazione conoscenze distribuite o chiarire passaggi interpretativi spesso frammentati. La letteratura sul planning comunicativo e deliberativo (Healey, 1997; Innes, Booher, 2010; Forester, 1998) ha da tempo evidenziato la centralità di tali snodi, pur incontrando difficoltà nel tradurli in dispositivi operativi dinamici. In questa prospettiva, l'introduzione di strumenti intelligenti può contribuire a rendere più leggibili tensioni, connessioni e presupposti già presenti nelle arene multiagente. Può inoltre intervenire in circostanze in cui la dimensione deliberativa tenda a operare in modo eccessivamente discrezionale o poco trasparente.

L'interesse non è introdurre vincoli acritici, ma facilitare una maggiore intelligibilità dei percorsi decisionali e delle loro premesse.

In un contesto cognitivo emerge invece l'utilità di un approccio che valorizzi concettualizzazioni semantiche e relazioni di legame logico, situazionale e dinamico. Esiti di questo tipo sono stati ricercati in vario modo, e recentemente attraverso metodologie ontologiche. In questo quadro, le ontologie applicate offrono un contributo radicalmente diverso rispetto ai modelli stocastici delle AI generative. Una ontologia, infatti, non si limita a riconoscere correlazioni statistiche tra termini, ma struttura esplicitamente classi, relazioni e vincoli logici che definiscono il dominio di conoscenza in modo rigoroso e formalizzato. Mentre i modelli generativi soffrono di indifferenza concettuale – poiché non distinguono tra correlazioni linguistiche e nessi causali – un modello ontologico permette di esplicitare tali nessi, imponendo dipendenze semantiche, gerarchie, proprietà e relazioni che non derivano da probabilità ma da definizioni concettuali condivise. Questo consente di integrare conoscenza formale e informale, vincolando l'interpretazione e la generazione di scenari ai significati effettivi delle entità coinvolte. In altre parole, l'ontologia introduce una dimensione epistemicamente trasparente e controllabile che può guidare o correggere l'output dell'AI generativa, riducendone la tendenza a produrre associazioni spurie o localmente incoerenti.

Esempio di ontologia di smart city realizzata con Protégé

Fig. 2

Fonte: Komninos et al., 2015

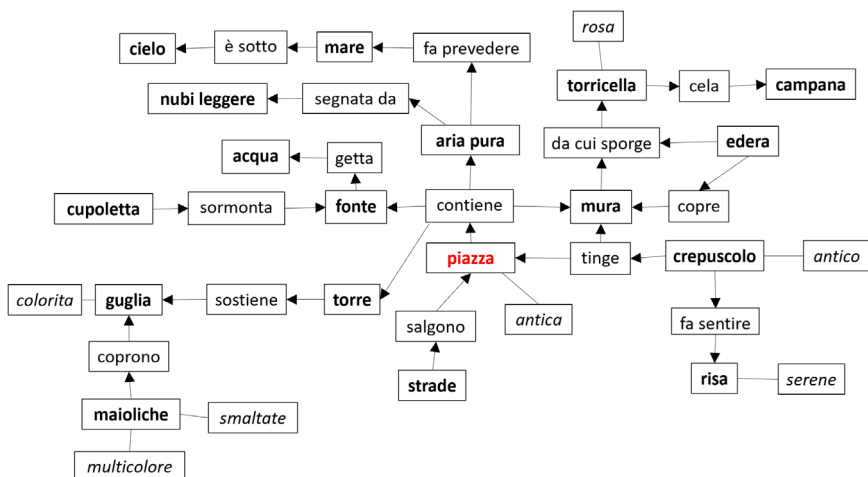
zioni facenti parte di un sistema ingegnerizzato suggerisce in qualche modo la potenzialità di gemelli digitali costruiti ontologicamente nel rappresentare la complessità del sistema. La ricerca ha quindi pensato di poter estendere questi approcci a sistemi dotati intrinsecamente di questa complessità - come quelli oggetto di studio della pianificazione spaziale (Deng et al., 2021).

Tuttavia, l'applicazione ai sistemi urbani (UDT) di questa tecnologia innovativa richiede un'attenta analisi delle sue potenzialità e dei suoi limiti, tuttora non del tutto noti. Integrando dati provenienti da molteplici fonti, questa rappresentazione digitale dovrebbe consentire di supportare la costruzione di scenari futuri, per simulare e valutare l'impatto di politiche e supportare processi decisionali complessi. Tuttavia, la natura intrinsecamente complessa delle città, caratterizzate da dinamiche sociali, economiche e ambientali interconnesse, pone sfide significative alla realizzazione di UDT efficaci. Entro obiettivi di migliore gestibilità si possono annidare semplificazioni eccessive o la mancata considerazione di aspetti immateriali, come i comportamenti umani e le relazioni multiagente. Il rischio è così di snaturare la realtà urbana e di generare modelli poco significativi e affidabili o addirittura fuorvianti. Il nostro gruppo ha recentemente sviluppato un percorso sperimentale orientato a esplorare la possibile costruibilità di gemelli digitali

urbani con un approccio per *landmark* (Lynch, 1960). Usando in particolare descrizioni letterarie di piazze italiane, si colgono suggestioni ed elementi intangibili per definire il carattere e l'identità della piazza, il suo valore simbolico, il ruolo nella vita sociale della comunità, le percezioni e le emozioni evocate negli agenti di comunità (fig.3). L'obiettivo è di perseguire l'essenza gemellare attraverso una conoscenza profonda e sfumata, che integri la rappresentazione fisica (Stufano Melone, Camarda, 2024). Questo esempio mostra anche come la modellazione ontologica consenta di ricostruire relazioni semantiche che l'AI generativa, basata su associazioni statistiche, non distingue in modo robusto. Per l'ontologia, la relazione "la piazza è nodo di attraversamento" o "la piazza evoca percezioni identitarie" non è una probabilità lessicale, ma un legame concettualmente definito e interrogabile, che può diventare vincolo operativo nei processi decisionali.

Peraltro, l'integrazione di dati eterogenei provenienti da diverse fonti e la gestione della vastità e della continua evoluzione di informazioni urbane rappresentano sfide tecniche considerevoli. La mancanza di standard condivisi e l'incompatibilità tra dati e modelli possono ostacolare l'interoperabilità e limitare l'utilità degli UDT.

In questo contesto diventano essenziali approcci olistici, multidisciplinari, multiagente.



Il coinvolgimento delle comunità urbane, l'utilizzo di ontologie applicate per la gestione della conoscenza e lo sviluppo di metodologie inclusive per la raccolta e l'analisi dei dati si mostrano cruciali per tentare di replicare geminalmente la complessità urbana.

È evidente che sistemi sociotecnici, ecosistemi rappresentano gradi di complessità significativamente più elevati di quelli riferibili ai contesti della ingegneria industriale.

Su questo piano tuttavia si vanno svolgendo le ricerche più avanzate che mirano a verificare l'applicabilità di ontologie nella rappresentazione della conoscenza complessa. Peraltro, giovandosi anche delle rapide dinamiche dello studio sull'intelligenza artificiale, tali ricerche presentano un percorso di continuo sviluppo. Modelli ontologici ibridi AI-based cominciano così a intravedersi, suggerendo evoluzioni applicative interessanti (Palagin et al., 2023). In questo quadro, è plausibile che l'impiego congiunto di modelli AI-based, strutture ontologiche e rappresentazioni digital twin possa offrire, oltre ai vantaggi analitici, anche forme più articolate di confronto tra prospettive diverse. La capacità

di restituire dinamicamente alternative e implicazioni decisionali facilita infatti la condivisione di conoscenza e discussione argomentata, senza sostituire - né pretendere di guidare - le dinamiche partecipative, ma rendendone più agevole l'alimentazione informativa.

5. Conclusioni

In definitiva, possiamo dire che la ricerca sul tema della pianificazione spaziale oggi presenta aspetti di diversa importanza e di diversa prospettiva. Questo contributo non mira certo a formulare una metodologia generale di pianificazione AI-based, che allo stato attuale sarebbe scientificamente velleitaria e comunque prematura. L'obiettivo è invece quello di sviluppare una riflessione epistemologica sulla tensione tra modelli decisionali tradizionali, complessità dei sistemi territoriali e nuove potenzialità offerte dagli strumenti intelligenti. Occorre dire anche che il tradizionale approccio razionale oggi pare poter beneficiare di una vivace dinamica scientifica tecnologica - che sembra poter offrire nuovi interessanti orizzonti alla teoria della decisione, a dispetto di

Mappa relazionale di una piazza costruita su una poesia di Dino Campana

Fig. 3

Fonte: Stufano Melone, Camarda, 2024

quanto irrituale possa oggi apparire questo indugiare sull'approccio razionale alle decisioni. In realtà la gestione di dati di conoscenza formalizzati o formalizzabili evoca *per se* la disponibilità di modelli anch'essi formalizzati per essere operativamente efficace. In essi le catene logiche, i processi di ottimizzazione, che sono una tipica prerogativa della razionalità decisionale, costituiscono elemento spesso pervasivo se non strutturante. Nei correnti contesti complessi in cui la componente data-driven diventa crescentemente necessaria per gestire spazi e comunità, modelli di ispirazione razionale (limitata) possono quindi apparire utili riferimenti.

In questo quadro oggi si è affacciata prepotentemente la prospettiva di uso della l'intelligenza artificiale. Si tratta in realtà di orizzonti già aperti nella mente di appassionati prima, e di ricercatori poi, da lungo tempo. In particolare, molta parte delle apprensioni di natura tecnica ma anche etica oggi sul tavolo delle discussioni riviene dalle suggestioni offerte da classici autori di scritti visionari (e.g., Asimov, 1950). L'idea che cyborgs possano impossessarsi delle

capacità decisionali degli umani, o addirittura correggere forzosamente le malefatte della specie, hanno quella lontana origine. Da parte opposta a queste esagerazioni esistono largamente condivise aspirazioni verso una intelligenza artificiale capace di sostituire gli umani in attività ad essi invisibili. Naturalmente siamo ancora distanti da entrambe le prospettive, come testimoniato dalle ricerche emergenti in questi ultimi anni (Schlagwein, Willcocks, 2023). Tuttavia, nel gradiente tra questi estremi oggi trovano spazio crescenti e multiformi interpretazioni, molte delle quali soprattutto di rilievo commerciale e speculativo. È per esempio diffusa opinione che lo stesso lancio sul mercato dei moduli di intelligenza artificiale generativa avvenuto improvvisamente un paio di anni orsono possa essere frutto di opportunismo commerciale piuttosto che l'innatteso apice di un progresso di ricerca (Wolfram, 2023). Dal lato strettamente scientifico, l'attuale livello di gestione dei protocolli da parte delle GPT si riferisce in maniera quasi esclusiva alle nuove capacità di gestione del linguaggio naturale. L'enfasi recentemente

riscossa dal superamento del test di Turing da parte di una di queste macchine è pressoché concordemente ascrivito proprio a questa rinnovata capacità espressivo-relazionale. L'interno di questi motori è invero strutturato non su reti di significati e concetti, ma su legami di tipo probabilistico e al più lessicale nel mining da moli enormi di dati - dinamicamente aggiornati tramite il loro stesso uso (Bhardwaz, Kumar, 2023). Da tale basilica indifferenza concettuale facilmente consegue che i campi di utilità in questo senso si rivelano abbastanza fragili e circoscritti, specialmente verso applicazioni in ambienti di conoscenza poco strutturata e codificata - come nel caso della pianificazione spaziale. La stessa interazione AI-utente, essenziale in molti processi di planning, risulta spesso problematica e difficile da gestire, tanto da determinare la nascita di nuovi campi di studio (White et al., 2023). La *prompt engineering* per esempio sviluppa ricerche sui metodi con cui è possibile ottenere risposte operativamente soddisfacenti agendo sulla articolazione delle domande. Questo però finisce per indurre circoli ripetuti di retroazione tra domanda e risposta che appesantiscono e peggiorano i livelli di intelligenza del sistema (White et al., 2023). Da tutto questo ragionamento sembrerebbero emergere motivi di perplessità diffusa, se non di sfiducia generalizzata, sulle potenzialità di applicazione di questi approcci in un campo operativamente e cognitivamente complesso.

Tuttavia nell'era dell'incertezza e della complessità, la pianificazione e la decisione intelligenti richiedono un'integrazione sinergica tra conoscenza diffusa, tecnologie emergenti e una comprensione approfondita dei contesti locali. La riflessione storica suggerisce che la separazione tra teoria e pratica nella pianificazione territoriale può portare a piani astratti e non implementabili, come evidenziato precedentemente. In tal senso, la complessa situazione italiana rende evidenti dinamiche che ricorrono anche in diversi contesti nei quali la produzione e la condivisione della conoscenza risultano frammentate o debolmente istituzionalizzate - se non strutturalmente opache. Configurazioni simili emergono in varie regioni dell'Europa meridionale e in ampie aree del cosiddetto "Sud globale", dove la distanza tra assetti formali di governo e pratiche decisionali effettive costituisce un tratto riconosciuto della complessità territoriale contemporanea. Tuttavia, difficoltà affini si osservano anche in contesti dell'Occidente avanzato, sempre più multiculturali e talora segnati da crescenti tensioni verso le regole condivise, come discusso nella più recente letteratura sulla governance di società plurali (p. es. Salet, 2018). In questa prospettiva, le criticità osservate nel caso italiano offrono spunti di più ampia generalizzabilità, richiamando l'esigenza di infrastrutture di conoscenza adattive e di processi deliberativi capaci di colmare nel tempo il divario tra regole di piano e pratiche di decisione reali.

L'approccio tradizionale di ispirazione razionale, a volte evocato in termini di gestibilità decisionale, mostra limiti nell'affrontare la dinamicità e la complessità dei bisogni collettivi. Da essi sono emersi interessi verso modelli incrementali misti i quali, non senza ulteriori limitazioni, mostrano utili suggestioni di risposta alle mutevoli condizioni verso prospettive future. L'impiego dell'AI all'interno di contesti decisionali partecipati può favorire una maggiore leggibilità dei passaggi attraverso cui conoscenze, dati e contenuti vengono aggregati o selezionati. La possibilità di rendere tracciabili tali passaggi, nonché di esplicitare i criteri interpretativi che regolano la formazione delle strategie, apre margini di potenziale mitigazione di distorsioni cognitive e di più equilibrate condizioni di accesso alle informazioni rilevanti. Si tratta di possibilità che non sostituiscono il giudizio umano, ma che possono contribuire a rafforzare la trasparenza dei processi e la qualità del confronto collettivo.

Come già osservato nella discussione dei limiti dell'intelligenza artificiale generativa, in particolare riguardo alla sua dipendenza da dati preesistenti, alla possibilità di incorporare distorsioni e alla difficoltà di interpretare nessi cognitivi complessi, rimane centrale il tema del bias - anche nel quadro più ampio della pianificazione intelligente. Tali criticità non scompaiono con l'uso di strumenti avanzati, ma richiedono dispositivi che ne rendano più esplicita la presenza all'interno dei processi de-

cisionali. In questo senso, le possibilità offerte da alcuni strumenti AI - come la tracciabilità dei passaggi interpretativi o la possibilità di esplicitare relazioni e assunzioni normalmente implicite - non eliminano il problema dei bias ma possono contribuire a far emergere squilibri informativi, presupposti non dichiarati e possibili asimmetrie valutative. Integrate con percorsi deliberativi appropriati, tali funzioni possono alimentare condizioni più consapevoli e riflessive di discussione collettiva.

In questo contesto l'innovazione tecnologica, progressivamente integrata dagli studi sulla AI generativa, offre nuove prospettive per la costruzione di scenari futuri e per la gestione della conoscenza complessa. Esperimenti sempre più ricorrenti, come l'AISB nel caso di Bari, sembrano mostrare il potenziale di queste tecnologie nel facilitare processi partecipati di scambio cognitivo rapidi e dinamici. Tuttavia, emergono anche i limiti dei modelli attuali di intelligenza artificiale non realmente interattiva e multiagente, che rischia di produrre scenari disconnessi dalla realtà locale.

Le esperienze recenti nel campo delle ontologie applicate, con una prospettiva di integrazione strutturale in urban digital twins, suggeriscono che la rappresentazione ontologica può fornire un quadro più strutturato e concettualmente robusto per gestire la complessità terrioriale. Questi approcci, che intrinsecamente superano l'indifferenza dei modelli generativi verso i nessi cognitivi attraverso formalizza-

zioni logiche esplicite, possono aiutare a creare modelli operativi che integrano conoscenza formale e informale, facilitando la coesione tra gli obiettivi a medio-lungo termine e le continuezze del breve periodo.

In conclusione, la strada verso una pianificazione e una decisione intelligenti passa attraverso l'adozione di metodologie innovative che valorizzino cognitivamente la partecipazione collettiva, l'inclusività e l'adattabilità. La combinazione di approcci incrementali misti con tecnologie emergenti, supportata da una solida base di conoscenza ontologica, rappresenta una delle sfide più pressanti e promettenti per il futuro della pianificazione territoriale. Attraverso una sinergia continua e strutturale tra domini di conoscenza e tecnologia, caratterizzati da molteplici agenti e fonti, i modelli di pianificazione e decisione spaziale potranno affrontare in modo intelligente le prospettive complesse e dinamiche che percorrono le nostre organizzazioni territoriali.

Bibliografia

Albrechts L., Healey P., Kunzmann K.R. 2003, *Strategic spatial planning and regional governance in Europe*, «Journal of the American Planning Association», vol. 69, n. 2, pp. 113-129.

Alexander E.R. 2016, *There is no planning—only planning practices: Notes for spatial planning theories*, «Planning Theory», vol. 15, n. 1, pp. 91-103.

ANVUR 2017, *Valutazione della Qualità della Ricerca 2011-2014: Rapporto finale*, Agenzia Nazionale di Valutazione del Sistema Universitario e della Ricerca, Roma.

ANVUR 2022, *Valutazione della Qualità della Ricerca 2015-2019: Rapporto finale*, Agenzia Nazionale di Valutazione del Sistema Universitario e della Ricerca, Roma.

Ariza-Álvarez A., Soria-Lara J.A., Aguilera-Benavente F. 2023, *Re-thinking the role of exploratory scenarios for adaptive policymaking: An application for land use and transport planning*, «Futures», vol. 149, pp. 103139.

Arrow K.J. 1963, *Social Choice and Individual Values*, Wiley, New York.

Asimov I. 1950, *I, robot*, Gnome Press, New York.

Batty M. 2022, *The conundrum of 'form follows function'*, «Environment and Planning B: Urban Analytics and City Science», vol. 49, n. 7, pp. 1815-1819.

Bell W. 2003, *Foundations of Futures Studies: History, Purposes, and Knowledge*, Transaction Publishers, New Brunswick (NJ).

Bhardwaz S., Kumar J. 2023, *An Extensive Comparative Analysis of Chatbot Technologies-ChatGPT, Google BARD and Microsoft Bing*, in IEEE (ed.) *2nd International Conference on Applied Artificial Intelligence and Computing (ICAAIC2023)*, IEEE, Salem, India, pp. 673-679.

- Borgo S., Ferrario R., Gangemi A., Guarino N., Masolo C., Porello D., Sanfilippo E.M., Vieu L. 2022, *DOLCE: A descriptive ontology for linguistic and cognitive engineering*, «Applied Ontology», vol. 17, n. 1, pp. 45-69.
- Borri D., Camarda D., Balena P., Giustozzi M. 2020, *Partecipazione e cognizione multi-agente nella strategia territoriale per Taranto: Note prodromiche al nuovo piano*, «Archivio di Studi Urbani e Regionali», vol. 127, pp. 148-171.
- Burns T. 2004, *A Practical Theory of Public Planning: The Tavistock Tradition and John Friend's Strategic Choice Approach*, «Planning Theory», vol. 3, n. 3, pp. 211-223.
- Camarda D. 2018, *Building sustainable futures for post-industrial regeneration: the case of Taranto, Italy*, «Urban Research & Practice», vol. 11, n. 3, pp. 275-283.
- Camarda D., Patano M. 2023, *If this is a planner: Artificial intelligence's way towards scenario building*, «Plurimondi», vol. 20,
- Camarda D., Patano M. 2024, *Exploring generative AI in planning: A scenario-building simulation for the master plan of Bari, Italy*, in M. Schrenk, V.V. Popovich, P. Zeile, P. Elisei, C. Beyer, J. Ryser, H.R. Kaufmann (eds.), *Keep on Planning for the Real World: Climate Change Calls for Nature-Based Solutions and Smart Technologies*, Corp, Mannheim, pp. 321-331.
- Clementi A., Dematteis G., Palermo P.C. (eds.) 1996, *Le Forme del Territorio Italiano*. Laterza. Bari.
- Cottineau C., Batty M., Benenson I., Delloye J., Hatna E., Pumain D., Sarkar S., Tannier C., Ubarevičienė R. 2024, *The role of analytical models and their circulation in urban studies and policy*, «Urban Studies», vol. 0, n. 0, pp. 00420980241237410.
- Deng T., Zhang K., Shen Z.-J. 2021, *A systematic review of a digital twin city: A new pattern of urban governance toward smart cities*, «Journal of Management Science and Engineering», vol. 6, n. 2, pp. 125-134.
- Etzioni A. 1967, *Mixed-scanning: A "third" approach to decision-making*, «Public Administration Review», vol. 27, n. 5, pp. 385-392.
- Etzioni A. 2014, *The Common Good*, John Wiley & Sons, New York.
- Fischer F. 2000, *Citizens, Experts, and the Environment: The Politics of Local Knowledge*, Durham: Duke University Press,
- Forester J. 1984, *Bounded rationality and the politics of muddling through*, «Public Administration Review», vol. 44, n. 1, pp. 23-31.
- Forester J. 1998, *Pianificazione e potere. Pratiche e teorie interattive del progetto urbano*, Dedalo, Bari.
- Friedmann J. 1993, *Pianificazione e dominio pubblico. Dalla conoscenza all'azione*, Dedalo, Bari.
- Friend J., Hickling A. 1997, *Planning Under Pressure: The Strategic Choice Approach*, Butterworth - Heinemann, London.
- Friend J.K., Jessop W.N. 1969, *Local Government and Strategic Choice*, Tavistock, London.
- Giray L. 2023, *Prompt Engineering with ChatGPT: A Guide for Academic Writers*, «Annals of Biomedical Engineering», vol. 51, n. 12, pp. 2629-2633.
- Habermas J. 1984, *The Theory of Communicative Action: Reason and the Rationalization of Society*, Beacon Press, Boston.
- Hall P. 1999, *Cities in Civilization: Culture, Innovation, and Urban Order*, Pantheon Books, New York.
- Healey P. 1997, *Collaborative Planning: Shaping Places in Fragmented Societies*, Macmillan, Houndmills (UK).
- Inayatullah S. 2008, *Six pillars: Futures thinking for transforming*, «foresight», vol. 10, n. 1, pp. 4-21.
- Innes J.E., Booher D.E. (eds.) 2010. *Planning with Complexity: An Introduction to Collaborative Rationality for Public Policy*. Routledge, Oxford.

- Jungk R., Mullert N. 1996, *Future Workshop: How to Create Desirable Futures*, Institute for Social Inventions, London.
- Karabulut E., Pileggi S. F., Groth P., Degeler V. 2024. *Ontologies in digital twins: A systematic literature review*. «Future Generation Computer Systems», n. 153, pp. 442-456.
- Kennora U. 2023, *Engineering and urban planning*, <[https://www.reddit.com/r/urbanplanning/](https://www.reddit.com/r/urbanplanning/comments/10lcqmc/engineering_and_urban_planning/) comments/10lcqmc/engineering_and_urban_planning/> (17/06/2024)
- Khakee A., Barbanente A., Camarda D., Puglisi M. 2002a, *With or without? Comparative study of preparing participatory scenarios using computer-aided and traditional brainstorming*, «Journal of Future Research», vol. 6, pp. 45-64.
- Khakee A., Barbanente A., Puglisi M. 2002b, *Scenario building for Metropolitan Tunis*, «Futures», vol. 34, pp. 583-596.
- Khakee A., Strömberg K. 1993, *Applying futures studies and the strategic choice approach in urban planning*, «Journal of the Operational Research Society», vol. 44, n. 3, pp. 213-224.
- Komninos N., Bratsas C., Kakderi C., Tsarchopoulos O. 2015. Smart city ontologies: Improving the effectiveness of smart city applications, «Journal of Smart Cities», val.1, n.1, pp. 31-46.
- Kunzmann K.R., Koll-Schretzenmayr M. 2015, *The state of planning and planning education in Europe*, in M. Macoun, K. Maier (eds.), *Annual AESOP Congress, Definite Space – Fuzzy Responsibility*, AESoP, Prague,
- Kunzmann K.R., Wegener M. 1991, *The pattern of urbanization in Western Europe*, «Ekistics», n. 350, pp. 282-291.
- Lindblom C.E. 1959, *The science of “muddling through”*, «Public Administration Review», vol. 19, n. 2, pp. 79-88.
- Lynch K. 1960, *The Image of the City*, Cambridge: The MIT Press,
- Maciocco G. (ed.) 1991, *Le dimensioni ambientali della pianificazione urbana*. Franco Angeli. Milano.
- Mazza L., Alexander E.R., Moroni S. 2012, *Planning without plans? Nomocracy or teleocracy for social-spatial ordering*, «Progress in Planning», vol. 77, n. 2, pp. 37-87.
- McLoughlin J.B. 1969, *Urban and Regional Planning: A Systems Approach*, Faber & Faber, London.
- Nozick R. 1993, *The Nature of Rationality*, Princeton University Press, Princeton.
- Olesen K. 2018, *Teaching planning theory as planner roles in urban planning education*, «Higher Education Pedagogies», vol. 3, n. 1, pp. 302-318.
- Palagin O., Kaverinskiy V., Litvin A., Malakhov K. 2023, *OntoChatGPT Information System: Ontology-Driven Structured Prompts for ChatGPT Meta-Learning*, «International Journal of Computing», vol. 22, n. 2, pp. 170-183.
- Pelzer P. 2017, *Usefulness of planning support systems: A conceptual framework and an empirical illustration*, «Transportation Research A», vol. 104, pp. 84-95.
- Poli G., Cuntò S., Muccio E., Cerreta M. 2024, *A spatial decision support system for multi-dimensional sustainability assessment of river basin districts: The case study of Sarno river, Italy*, «Land Use Policy», vol. 141, pp. 107123.
- Properzi P., Ombuen S. (eds.) 2020, *Rapporto dal Territorio 2019*. INU Edizioni. Roma.
- Salet W.G.M. (ed.) 2018. *The Routledge Handbook of Institutions and Planning in Action*. Routledge, London.

- Sandercock L. 1998, *Towards Cosmopolis: Planning for multicultural cities*, Wiley, Chichester.
- Santoro S., Esposito D., Camarda D., Borri D. 2021, *A Hybrid Approach for the Acquisition and Analysis of Distributed Knowledge on Spatial Planning: The Case Study of the Master Plan for Brindisi (Italy)*, «Lecture Notes in Civil Engineering», vol. 146, pp. 195-204.
- Santoro S., Stufano Melone M.R., Camarda D. 2020, *Building strategic scenarios during Covid-19 lockdown*, «TeMA-Journal of Land Use, Mobility and Environment», vol. 13, n. 2, pp. 229-240.
- Sardar Z. 2010, *The Namesake: Futures; futures studies; futurology; futuristic; foresight—What's in a name?*, «Futures», vol. 42, n. 3, pp. 177-184.
- Scandurra E. 2001, *Gli Storni e l'Urbanista. Progettare nella Contemporaneità*, Meltemi, Roma.
- Schlagwein D., Willcocks L. 2023, 'ChatGPT et al.: The ethics of using (generative) artificial intelligence in research and science', «Journal of Information Technology», vol. 38, n. 3, pp. 232-238.
- Schön D.A. 1993, *Il Professionista Riflessivo: Per una Nuova Epistemologia della Practica Professionale*, Dedalo, Bari.
- Sharifi A., Khavarian-Garmsir A.R., Allam Z., Asadzadeh A. 2023, *Progress and prospects in planning: A bibliometric review of literature in Urban Studies and Regional and Urban Planning, 1956–2022*, «Progress in Planning», vol. 173, pp. 100740.
- Simon H.A. 1945, *Administrative Behavior: A Study of Decision-making Processes in Administrative Organization*, Macmillan, London.
- Simon H.A. 1955, *A behavioral model of rational choice*, «The Quarterly Journal of Economics», vol. 69, n. 1, pp. 99-118.
- Simon H.A. 1982, *Models of Bounded Rationality*, The MIT Press, Cambridge, MA.
- Stiglitz J.E., Greenwald B., Gallegati M., Richiardi M.G. 2008, *The asymmetric effect of diffusion processes: Risk sharing and contagion*, «Global Economy Journal», vol. 8, n. 3.
- Stufano Melone M.R., Camarda D. 2024, *Spatial-cognition ontology models in policymaking: Dealing with urban landmarks in literary narratives*, «TeMA - Journal of Land Use, Mobility and Environment», vol. 51, pp. 29-44.
- Susskind L., Cruikshank J.L. 1987, *Breaking the Impasse: Consensual Approaches to Resolving Public Disputes*, Basic Books, New York.
- van Dijk T. 2021, *What collaborative planning practices lack and the design cycle can offer: Back to the drawing table*, «Planning Theory», vol. 20, n. 1, pp. 6-27.
- Wagg D., Worden K., Barthorpe R., Gardner P. 2020, *Digital twins: state-of-the-art and future directions for modeling and simulation in engineering dynamics applications*, «ASCE-ASME Journal of Risk and Uncertainty in Engineering Systems, Part B Mechanical Engineering», vol. 6, n. 3.
- White J., Fu Q., Hays S., Sandborn M., Olea C., Gilbert H., Elnashar A., Spencer-Smith J., Schmidt D.C. 2023, *A prompt pattern catalog to enhance prompt engineering with chatgpt*, «arXiv preprint arXiv:2302.11382».
- Wolfram S. 2023, *What is ChatGPT doing... and why does it work?*, <<https://writings.stephenwolfram.com/2023/02/what-is-chatgpt-doing-and-why-does-it-work/>> (19/06/2024)

On small area composite indicators and classifications for urban planning: theory-driven and data-driven approaches

Alessia Calafiore

Edinburgh School of Architecture and Landscape Architecture,
University of Edinburgh

acalafio@ed.ac.uk

orcid.org/0000-0002-5953-2891

Received: April 2025 / Accepted: December 2025 | © 2025 Author(s).

This article is published with Creative Commons license CC BY-SA 4.0 Firenze
University Press.

DOI: 10.36253/contest-15767

keywords

evidence based
urban planning
multidimensional indicators
GeoAI

1. Introduction

Every second an immensely vast amount of data is collected via several means. This ‘big data’ era has been driving significant changes in research and practice, opening up new ethical, methodological and analytical challenges.

Many of these big data are geographic, expressing the location of physical objects, humans and animals, often in real-time. The widespread presence of urban data sensors, sometimes directly linked to objects, as

in the Internet of Things paradigm, and to people, as those voluntarily and involuntarily flowing through the use of mobile phones and their applications, have laid the foundations for the so-called smart cities. The idea of a smart city involves the creation of technological ecosystems whereby most of the urban everyday life processes can be governed by forms of automated decision-making (Ahad et al., 2020). While several cities around the

The collection of data by public and private organisations has increased rapidly and continuously in the last decades. While some have called for “the end of theory” in a society dominated by data, this paper argues that theory and data driven approaches are both fundamental to make informed evidence-based decisions.

Taking the case of geographic data products aimed at supporting urban planning, this paper critically examines the approaches that underpin their development. Through illustrative examples, it describes two types of research data products – small-area

multidimensional theory-driven indicators and data-driven classifications – and outlines their respective advantages, limitations, and applications.

While it is recognised that geographic data products can be a valuable asset to support urban planning, challenges remain in translating research outputs into practice. To avoid technocratic and decontextualised applications of such data, it is suggested to prioritise reflexivity, situate knowledge, acknowledge uncertainty, and embrace openness throughout the data production and use process.

world have been implementing smart cities initiatives, the ambition to effectively manage urban complex dynamics by fully relying on technological supports have only partially been fulfilled and do not lack of criticism. For example, a relatively recent trend in the digital transformation towards smart cities is that of digital twins (Deng et al., 2021), which are defined as computer representations, or virtual copies, of the processes that determine how a physical system operates, connected by real-time data feeds with the physical system they represent (Batty, 2024). While digital twins have demonstrated potential

in engineering applications and to describe physical phenomena, they are still not able to properly include people behaviours in their representations as well as the cultural, social and economic dynamics which are so essential to understand how cities function (Batty, 2024; Malleson et al., 2024).

More broadly, a criticism to the concept of smart cities, and related solutions such as the creation of digital twins, is that they are fundamentally grounded in a technocratic view to fixing urban problems (Malleson et al., 2024). Scholars who see urban planning theory and practice as the making of liveable, sustainable and healthy places, where people are at the very centre of the analysis, will certainly find it hard to believe that a purely technical solution can truly achieve the desired outcome. Urban planning that seeks to transform cities into better places to live must account for existing inequalities, risks of social exclusion, and people's lived experiences in order to achieve meaningful change.

In this contribution, I would argue that while existing urban models may not be good enough to find ready to implement solutions for place-making, the deluge of geographic data that we have seen flourishing in the last decades can certainly play a key role in transforming our cities by providing evidence urban planners can build upon.

To date, the collection, storing and analysis of geographic big data have greatly enriched our

understanding of human and urban dynamics (Batty, 2013; Thakuriah et al., 2017), by generating new evidence on several phenomena such as spatial segregation dynamics, socio-spatial inequalities, human mobility patterns, the built environment impacts on health just to mention a few. Geographic big data have also been considered a fundamental asset in urban sustainability research, allowing to combine human behaviour, built environment and environmental data in the attempt to account for the complex and multidimensional nature of sustainable development at scale (Kong et al., 2020; Wang and Moriarty, 2018). Leveraging new evidence to inform urban planning has been therefore increasingly a matter of discussion in the field, with scholars trying to position the role data and evidence may have to support the development of planning theories and practice. Krizek et al., (2009) highlighted the potential of evidence-based urban planning to bridge urban research and practice. At the same time, they called attention to the actual transferability of research results into practice, as well as to the importance of viewing evidence in a wider sense, therefore including participatory practice and accounting for the researchers positionality which may drive biases (Krizek et al., 2009).

Researchers creating Open Data Products (ODPs) take a step forward in favouring such transferability. ODPs can be thought as “the

final data outcome resulting from adding value to raw, highly complex, unstructured and difficult-to-access data to address a well-defined problem, and making the generated data output openly available” (Arribas-Bel et al., 2021). Raw data are therefore analysed and reorganised to provide synthetic and more readable versions of the original sources and are developed to directly respond to certain research questions.

ODP when created with geographic data can respond to relevant questions about specific locations, for example how much walkable or bikeable an area is (Shashank and Schuurman, 2019, Lovelace et al., 2017), quantifying the level of access to services (Nicoletti et al., 2023, Calafiore et al., 2022) or sustainable urban mobility (Danielis et al. 2018), suggesting the extent to which the sustainable transport demand is met by the sustainable transport supply (Ballantyne et al., 2024), or what the main features of an area are, either in terms of their morphology (Alexiou et al., 2016, Fleishmann et al. 2025) and/or the land use (Arribas-Bel and Fleischmann, 2022; Samardzhiev et al., 2022).

Although the creation of geographic data products is increasingly common in urban planning research, how they can become an integrated part of urban planning practice is still an open question. This paper aims at first, describing the advantages and limitations of geographic data products by critically

discussing two epistemologically distinct perspectives in their making - theory-driven and data-driven; second, highlighting current challenges on how these research data can be adopted in planning practice.

2. Creating human readable data

Creating multidimensional indicators and classifications can be described as a series of analytical tasks that transform raw data into data products, where raw data are not interpretable by humans while data products are. Therefore, they have the potential to be a valuable resource to inform decision-making. In this contribution two widely used and distinct approaches to build data products at small area level are discussed.

2.1 *Small area composite indicators*

Composite indicators emerge from the need to describe a complex multidimensional phenomenon with a synthetic measure, rather than forcing a decision-maker to look at multiple indicators individually (Mazziotta and Pareto, 2017). As the volume of available data grows, so does the opportunity to combine information from multiple sources, making the development of analytical tools – such as composite indicators or indices – increasingly common.

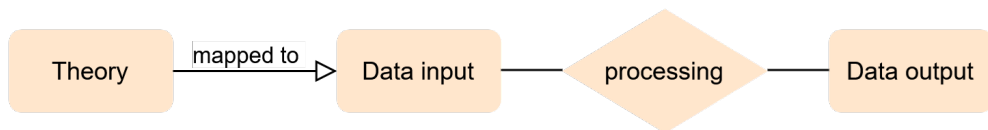
Several international organisations make use of composite indicators and contributed to standardise and support its development with

handbooks, i.e. the Organisation for Economic Co-operation and Development handbook to construct composite indicators (Nardo et al., 2008), or through working groups, i.e. the United Nations Statistics Division Working Group on Composite Indices¹.

While many existing composite indicators are related to entire countries, urban planning is concerned with how cities and places function, therefore the granularity of the data's spatial dimension becomes key to inform it. Consequently, this contribution focuses on those which provide synthetic information of small geographical areas, although many of the discussion points are generalisable to all composite indicators.

At their core, these indicators are a statistical aggregation of data that capture the various dimensions of a phenomenon in a synthetic way. A fundamental step in constructing composite indicators is the development of a theoretical framework to define the multidimensional phenomenon of interest. It is the central importance of this step that distinguishes composite indicators from multidimensional classifications. The methodological choices that follow are, along with statistical validity, intended to best represent the underlying theoretical framework.

When defining a theoretical framework, the data creator must make three key decisions: identifying the domain and its sub-domains, specifying their properties, and determining



the relative importance of those properties. The domain represents the highest level of analysis, capturing the core characteristics of the phenomenon of interest, while sub-domains allow this phenomenon to be broken down into meaningful components. Properties describe the essential features needed to characterise the phenomenon. Their importance may be equal or vary across domains and sub-domains, and this variation is typically expressed through the use of weights or hierarchical structures.

It is important to note that composite indicators are ultimately made of numbers, therefore limited by the measurability of a property or by the lack of data. Ideally, the initial definition of the theoretical framework should go beyond these limitations (Nardo et al., 2008) in order to make explicit what is not captured. However, a clear mapping between the identified properties and the data is also fundamental for the interpretability of composite indicators (see Figure 1).

Theoretical frameworks are grounded in existing theories, ideally backed by evidence, that characterise the domain of interest. In many cases, the resulting theoretical framework is far from being universally recognised with scholars often debating the very definition of a phenomenon and evaluating the addition or deletion of certain properties as well as the varying or their relative importance. An example of composite

indicator in the context of urban planning that has been highly debated in the last decades is the walkability index. Extensive literature review shows how the concept of walkability and the way it has been measured is still part of a broad discussion around what it means for a place to be walkable (Shields et al., 2023). However, the most established and common theoretical frameworks to develop walkability indices are influenced by the 3 Ds (Diversity, Density and Design) theory, then extended to the 5 Ds (Destination accessibility and Distance to transit) theory (Venerandi et al., 2024). Brought about by new urbanists, the 3Ds theory suggests that a compact built environment with a mixed land use and a good design can reduce motorised travel, which has also been confirmed by evidence leveraging data (Cervero and Kockelman, 1997). This principle has been translated into walkability indices by using variables that convey the 3 Ds as in Frank et al. (2005) combining residential density, land use mix and street connectivity. Building on Frank et al. (2005), variables mirroring Destination accessibility and Distance to transit have been included by some other walkability indices as in Neckerman et al. (2009) where distance to subways and retail areas are accounted for.

Theoretical frameworks can also be informed by views emerging from the engagement of the public. This approach is more common in applied research or practice, where a non-

High level representation of composite indicators development.

Source: made by the author

Fig. 1

academic perspective plays an important role for the validity and acceptability of the theoretical framework, especially when the composite indicator is directly meant to support policy making. The importance of engaging the public lies primarily in the need to incorporate bottom-up information that more accurately reflects people's views and lived experiences. This is evident in walkability indices that integrate perceived walkability through surveys (Zhang and Mu, 2020), rely on interviews or fieldwork (Knapskog et al., 2019), or in accessibility indices that consider the preferences of specific population groups—for example, older adults (Dunning et al., 2023). Along with bottom-up knowledge, expert knowledge coming from non-academic stakeholders can also contribute to developing a theoretical framework more targeted on making impact on and influence decision-making (Ballantyne and Singleton, 2024).

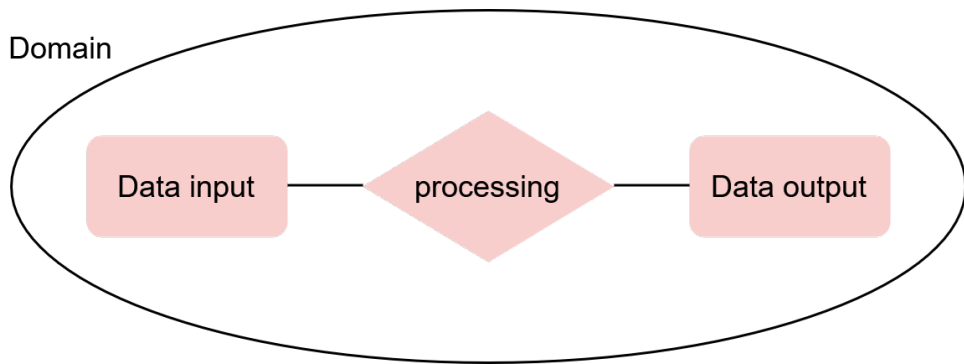
2.2 Small area classifications

While small area classifications for urban planning are not built by ignoring urban theories and dynamics, compared to combined indicators they are mostly aimed at knowledge discovery `from` the data rather than capturing existing knowledge `through` the data. Creating small area classification relies on machine learning methods that identify clustering patterns across multidimensional data. The growing intersection between

Data Science and Geographic Information Science – driven by the opportunities offered by geographic big data – has been widely discussed over the past decade, with many calling for deeper integration between the two fields (Singleton and Arribas-Bel, 2021). Small-area classifications provide a compelling example of this ongoing cross-pollination.

Clustering algorithms developed in data science as unsupervised machine learning approaches are now used in many geographic applications. Broadly, a clustering task aims at dividing data points into groups such that the similarity among those in the same group and the dissimilarity between data points in different groups are maximised. When applied to spatial data this task generates new geographies of the urban environment, where space is divided based on patterns emerging from data. Such exercise has been widely implemented to discover population geographies also known as geodemographics by characterising people living in the same area; to synthetically describe the physical urban environment by characterising the built environment morphology in the same area; or to classify places more broadly by accounting for both physical and population characteristics in the same area.

While combined indicators are designed to represent a well framed urban phenomenon, small area classifications tend to be more general purpose and then applied in different ways.



The development of geodemographics have found several applications to support urban planning. Broadly speaking, geodemographic classifications offer a condensed, multidimensional description of the population living in an area and can be used to better understand existing inequalities among segments of the population rather than focusing on individual variables. For example, they can uncover inequalities on who is getting access to green spaces (Barbosa et al., 2007), to the urban amenities people need (Dunning et al., 2023), or even to assess how successful the spatial targeting of urban policy initiatives has been for the benefit of certain segments of the population (Batey and Brown, 2007).

Along with mapping population groups, small area classifications can provide an informative layer describing the forms and functions of the built environment. Land cover and land use maps have been part of the urban planner toolkit for decades; with the increasing amount of spatial data at a more and more granular resolution, a new generation of small area classifications of the urban fabric is emerging. These kinds of classifications use a wider variety of data input that enable more flexibility while providing descriptions

of the built environment, by developing novel spatial units to better capture variations in urban forms and functions (Arribas-Bel and Fleischmann, 2022), by focus on specific types of infrastructure such as green infrastructures (Morpurgo et al., 2023), or analyse them in combination with geodemographics (Alexiou et al., 2016).

As mentioned in the beginning of this section, small area classifications are mostly aimed at knowledge discovery driven by data patterns learned by algorithms; however, there is a theoretical component behind the development of these classifications in the data selection stage. Selecting which data to include or to exclude requires an understanding of the phenomenon that you want to discover through data. On the one hand, since machine learning applications do benefit from the quantity, along with the quality, of data, the data selection tends to be less restrictive than in composite indicators, and it is mostly focused at capturing the general domain of interest to then discover knowledge rather than to align the data to existing theory and knowledge as for composite indicators. On the other hand, this theoretical component opens up the opportunity to also engage the public in the data selection process; an interesting

High level representation of multidimensional classifications development

Source: made by the author

Fig. 2

example is the ageing in place classification developed by (Yang et al., 2023) for which consultations with stakeholders were made in the data selection phase to obtain feedback on the relevance of the included variables. In Fleischmann et al. (2025), although there is no direct mapping of the theoretical framework to the data input, the role of theory goes beyond data selection, to inform methods that defines urban forms.

3. Comparing small-area indicators and classifications

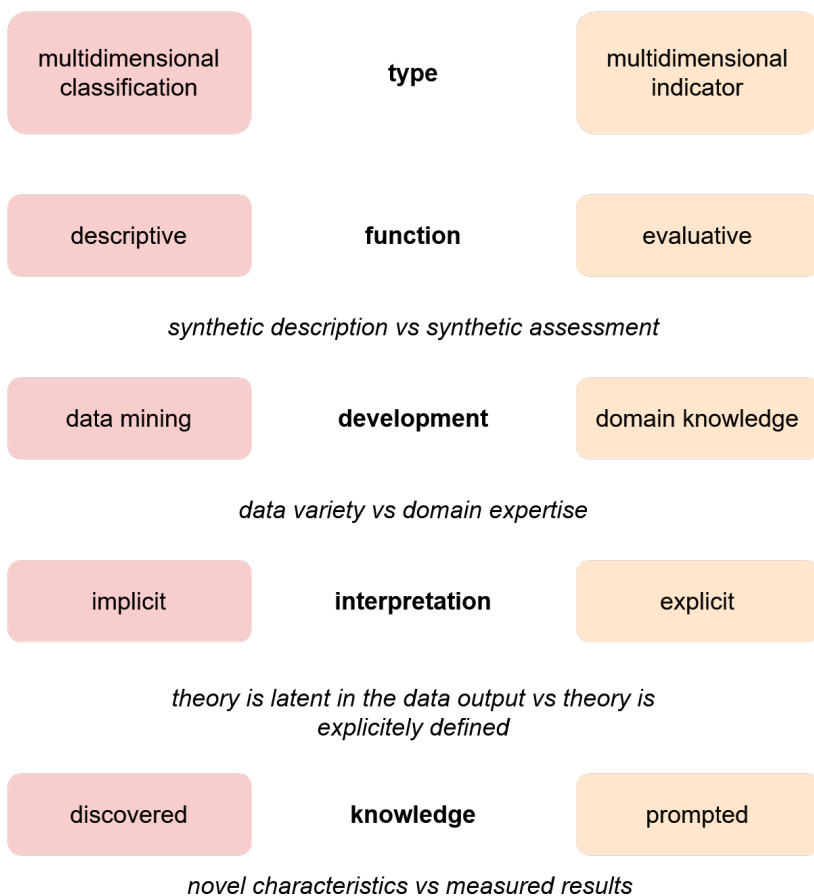
Cities are complex systems arising from the mutual interaction between humans and the built environment. While data offer new opportunities to better understand and eventually govern urban dynamics to make cities more liveable and sustainable, cross-fertilisation between data science expertise and urbanism is needed to unlock the urban data potential in supporting decision-making. In this contribution, I have presented two types of geographic data products that offer strong potential for making emerging evidence more intelligible to users while also aligning more closely with urban planning theory and practice.

Both composite indicators and classifications are multidimensional, capturing a phenomenon from different perspectives with only one measure. This is an advantage from at least two viewpoints. First, studies have shown that

composite metrics tend to be more robust after validation than single indicators (Shashank and Schuurman, 2019); second, they provide a more comprehensive description of a place that is more easily legible than variables taken individually. Concerning this latter aspect, it is important to note a difference between composite indicators and classifications: the former can be seen as evaluative, it aims at answering questions related to the ‘how much’ of a specific phenomenon, i.e. how much sustainable, liveable, walkable, vulnerable an area is; the latter have a more descriptive purpose and require additional explanations that render them more legible to users such as ‘pen portraits’ comprising text and illustrative material summarising the prevailing characteristics of groups and types (Longley and Singleton, 2009).

As shown in Figures 1 and 2 multidimensional indicators and classifications follow distinct development workflows. The development of composite indicators corresponds to a theory-driven approach, relying largely on the creator’s domain expertise to define how areas are characterised and, importantly, ranked or evaluated. In contrast, the development of classifications – while still informed by theory – focuses more heavily on drawing from a broader range of data to uncover meaningful patterns through data-mining techniques that reveal hidden structures.

From a theoretical perspective the



interpretation of composite indicators and multidimensional classifications come at different moments: composite indicators should be grounded in explicit theoretical frameworks that can be easily situated and critically assessed by the users even before looking at the resulting maps; multidimensional classifications cannot be scrutinised a-priori, making the interpretation slightly more complex, as it comes afterwards while assessing the results. Such difference has a methodological

counterpart which results in distinct kinds of outcome. Composite indicators require methods that aim at combining data as much representative as possible of the theoretical framework, obtaining information about an area that is prompted by such framework; multidimensional classifications result from methods that are thought to be the best fit for mining the available data, generally unsupervised, and obtaining new, data-driven, description of an area.

While neither composite indicators or

Comparing small-area multidimensional classifications and indicators.

Source: made by the author

Fig. 3

multidimensional classifications are intrinsically better than the others, it is crucial to appreciate their differences and make a context dependent use of them. Cases where a scholar or practitioner has a question on a very specific urban phenomenon and can easily access domain expertise on such phenomenon should make use of composite indicators; on the contrary, if the concern is on exploring the characteristics of places more broadly, multidimensional classifications would be much more useful and allow to make knowledge emerge from data.

4. From research to practice: challenges and opportunities

Composite indicators and multidimensional classifications at small area level are widely employed in research; however, they are not often applied to real-world urban planning practice. While data-driven solutions in the context of smart cities often materialise as part of a technocratic and top down view of city governance, the advantage of legible and easy to visualise geographic data products is that they can become a valuable tool for practitioners and policy makers to not only develop evidence based urban plans, but also to communicate and interact with the local community about such plans in a more informative and accountable way. As van Dijk et al. (2020) put it the ambition for evidence-based urban planning is that of creating

the basis for “an informed and empowered community to engage democratically in the local administration of our cities and neighbourhoods”.

However, to maximise the opportunities of transferring research outputs into real world urban planning, it is argued that there are still some challenges that must be addressed on the way such outputs are developed and packaged. Notably, it is suggested to prioritise reflexivity, situate knowledge, acknowledge uncertainty, and embrace openness throughout the data production and use process.

4.1 Reflexivity

Data are never neutral and can be thought as “socially constructed artefacts that reflect the contexts and processes of their creation” (Iliadis and Russo, 2016). Composite indicators result from the way a phenomenon of interest is defined by the data product creator and their underlying assumptions (Shashank and Schuurman, 2019); likewise, interpreting results to provide legible descriptions from classifications cannot be seen as objective but influences by the data creator positionality. Both these aspects need to be taken into consideration while interacting with any type of data products. It therefore becomes fundamental to accompany geographic data products with digestible pieces of information making theoretical choices, assumptions and possible source of biases explicit.

4.2 *Situating knowledge*

Urban contexts vary substantially, and their descriptions require an in-depth understanding of their history, culture and socio-economic structure. The increasing availability of data globally renders the development of indicators and classifications for cities across the world now possible. While this is certainly an advantage to generate far-reaching geographic data products and enable comparisons between countries, it risks excluding locally relevant perspectives in their making. Because power dynamics shape both people and data, a Western-centric perspective on urban planning can easily permeate the development of geographic data products, excluding relevant views in the making. Moreover, research shows that biases rooted in structural inequalities are often reproduced in the data itself, leading to the over-representation of certain areas or population groups at the expense of others (Robinson and Franklin, 2021). One avenue that could be pursued moving forward would involve the data creator providing a degree of flexibility in the outputs, for instance by decomposing the data product into constituent components that can be recombined and augmented with locally specific knowledge.

4.3 *Uncertainty*

As Couclelis (2003) puts it, GIS and geographic knowledge are limited by the

certainty of uncertainty. Some of the errors and uncertainties can be attributable to the specificities of geospatial data processing such as the use of different spatiotemporal scales and zonal schemes or the definition of geographic context in space and time (Chun et al., 2019). The Modifiable Area Unit Problem (MAUP) is a well-known problem in geographic data processing whereby the definition of the area unit determines the way a phenomenon is represented, and its variation can bring inconsistent results (Wong, 2004). Kwan (2012) highlights that, especially when dealing with place-people relationships, more dynamic area unit definitions across space and time are needed to overcome what she called the Uncertain Geographic Context Problem (UGCoP). While some techniques can minimise the propagation of errors and uncertainty, these remain an intrinsic characteristic of geographic knowledge (Couclelis, 2003). To make geographic data products that can be reliably used in urban planning practice is therefore crucial to be explicit on the underlying uncertainty, how this has been mitigated and what are the limitations in the data employed. Furthermore, I would argue that significant work remains in bridging qualitative and quantitative approaches to address the knowledge gaps arising from the loss of non-measurable information when relying exclusively on data, thereby enabling more informed decision-making.

4.4 Openness and transparency

Openness and transparency are fundamental to enable the reuse of geographic data products both in research and practice. While not all input data can always be publicly shared, pushing towards opening the derived data products as pure datasets or through interactive visualisations is certainly an effective way to enable their use in real world urban planning scenarios. However, making data products publicly accessible does not come without challenges. The FAIR (Findable, Accessible, Interoperable, Reusable) principles provide guidelines to researchers on how to publish their research data and serve as a valuable example of how advocating for data sharing is becoming increasingly common (Wilkinson et al., 2016); academic journals are also growingly recognising the value of sharing research data and creating outlets, i.e. Nature Scientific Data, or paper types, i.e. urban data/code (Arribas-Bel et al., 2021), specifically meant at research data publishing. Although making research data more accessible is taking on an increasingly central role, how to make them accessible beyond academia is still not broadly discussed. Notably, accompanying geographic data product with dissemination-oriented documentation and designing interactive visualisation could be among best practices moving towards a more outreach focused data publishing.

5. Conclusion

In the last decades, data have become a fundamental resource in all sectors of our society, including the planning of cities. However, this brings about several challenges encompassing the theoretical, methodological and ethical sphere.

In this contribution, two types of rather common data products that can support decision-making in urban planning have been presented and compared. Notably, these two have been selected to contrast the theory-driven approach of composite indicators and the data-driven approach of multidimensional classifications. The two approaches exemplify some of the challenges that we broadly see while using data with new AI methods in the social domain.

The functioning of our societies and therefore of our cities have been object of studies way before the technologies we make use of today were even part of our imagination. The role of urban theory and the importance to build on existing knowledge coming from centuries of observations of cities and their dynamics should never be underestimated. Interdisciplinary work and cross-fertilisation between urbanism and data science need to become more common to avoid the development of a technocratic vision of cities, where data products are not properly interpreted and challenged.

At the same time, geographic big data allow

to scale observations up to an unprecedented level and this is an unmissable opportunity to discover new knowledge about urban dynamics. AI methods often develop solutions coming from a so-called black-box where the rationale behind a machine decision is not known. Since a city is not an engine and there is no unique optimal solution to make it a better place to live in, urban planners have to motivate their decisions which may not be the best solution in absolute terms, but what a planner believes being the best in a certain context or based on a certain vision; as a consequence, to inform decision-making with data-driven evidence there need to be a comprehensive understanding of what the determinants of such evidence are, which is still not always possible with AI. A promising development of AI in this direction is explainable AI that aims at providing metrics to describe how a machine solved a e.g. classification problem, including which one of the data input have played a more significant role. Furthermore, in light of bridging urban planning with AI there need to be an effort in providing not only more accessible data products but also more accessible documentations on data quality and awareness of the intrinsic uncertainty of any quantitative science dealing with human dynamics².

It is also important to note that some of the uncertainty we have to deal with using data is also due to privacy concerns. Ethical

data collection and usage are still a very open issue since AI systems came into play. The combination of increasingly personal information people give freely to big platforms with the growing computation capability generates significant ethical concerns. Such concerns invest data that can be used to inform urban planning too. There are already a multitude of studies that made use of the so-called 'new forms of data', which include those coming from relatively new sources such as social media or mobile phone applications. These new forms of data inevitably open up new opportunities to fill that uncertainty gap with more and more detailed information on how people navigate city spaces and their preferences (Ki et al., 2023). While this is certainly an advantage for urban research, ensuring that there is ongoing and explicit consents from data subjects is still an open issue.

Notes

¹ <https://unstats.un.org/unsd/methods/wgci/default.htm>

² Franklin (2022) defines uncertainty "broadly as the gap that exists between real-world, 'true but unknown' values and relationships and what we are able to observe, given the methods and data available."

References

- Ahad, M.A., Paiva, S., Tripathi, G., Feroz, N., 2020. Enabling technologies and sustainable smart cities. *Sustain. Cities Soc.* 61, 102301. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2020.102301>
- Alexiou, A., Singleton, A., Longley, P.A., 2016. A Classification of Multidimensional Open Data for Urban Morphology. *Built Environ.* 42, 382–395. <https://doi.org/10.2148/benv.42.3.382>
- Arribas-Bel, D., Fleischmann, M., 2022. Spatial Signatures - Understanding (urban) spaces through form and function. *Habitat Int.* 128, 102641. <https://doi.org/10.1016/j.habitatint.2022.102641>
- Arribas-Bel, D., Green, M., Rowe, F., Singleton, A., 2021. Open data products-A framework for creating valuable analysis ready data. *J. Geogr. Syst.* 23, 497–514. <https://doi.org/10.1007/s10109-021-00363-5>
- Arribas-Bel, D., Alvanides, S., Batty, M., Crooks, A., See, L., & Wolf, L. 2021. Urban data/code: a new EP-B section. *Environment and Planning B: Urban Analytics and City Science*, 48(9), 2517–2519.
- Ballantyne, P., Filomena, G., Rowe, F., Singleton, A., 2024. Developing two-dimensional indicators of transport demand and supply to promote sustainable transportation equity. *Comput. Environ. Urban Syst.* 113, 102179. <https://doi.org/10.1016/j.compenvurbsys.2024.102179>
- Ballantyne, P., Singleton, A., 2024. Using composite indicators and city dashboards to promote place-based policy interventions. *Cities* 154, 105329. <https://doi.org/10.1016/j.cities.2024.105329>
- Barbosa, O., Tratalos, J.A., Armsworth, P.R., Davies, R.G., Fuller, R.A., Johnson, P., Gaston, K.J., 2007. Who benefits from access to green space? A case study from Sheffield, UK. *Landsc. Urban Plan.* 83, 187–195. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2007.04.004>
- Batey, P., Brown, P., 2007. The Spatial Targeting of Urban Policy Initiatives: A Geodemographic Assessment Tool. *Environ. Plan. Econ. Space* 39, 2774–2793. <https://doi.org/10.1068/a38519>
- Batty, M., 2024. Digital twins in city planning. *Nat. Comput. Sci.* 4, 192–199. <https://doi.org/10.1038/s43588-024-00606-7>
- Batty, M., 2013. Big data, smart cities and city planning. *Dialogues Hum. Geogr.* 3, 274–279. <https://doi.org/10.1177/2043820613513390>
- Calafiore, A., Dunning, R., Nurse, A., Singleton, A., 2022. The 20-minute city: An equity analysis of Liverpool City Region. *Transp. Res. Part Transp. Environ.* 102, 103111. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2021.103111>
- Calafiore, A., Palmer, G., Comber, S., Arribas-Bel, D., Singleton, A., 2021. A geographic data science framework for the functional and contextual analysis of human dynamics within global cities. *Comput. Environ. Urban Syst.* 85, 101539. <https://doi.org/10.1016/j.compenvurbsys.2020.101539>
- Chun, Y., Kwan, M. P., & Griffith, D. A., 2019. Uncertainty and context in GIScience and geography: challenges in the era of geospatial big data. *International Journal of Geographical Information Science*, 33(6), 1131–1134.
- Couclelis, H. 2003. The certainty of uncertainty: GIS and the limits of geographic knowledge. *Transactions in GIS*, 7(2), 165–175.
- Cervero, R., Kockelman, K., 1997. Travel demand and the 3Ds: Density, diversity, and design. *Transp. Res. Part Transp. Environ.* 2, 199–219. [https://doi.org/10.1016/S1361-9209\(97\)00009-6](https://doi.org/10.1016/S1361-9209(97)00009-6)

- Danielis, R., Rotaris, L. and Monte, A., 2018. Composite indicators of sustainable urban mobility: Estimating the rankings frequency distribution combining multiple methodologies. *International Journal of Sustainable Transportation*, 12(5), pp.380-395.
- Deng, T., Zhang, K., Shen, Z.-J. (Max), 2021. A systematic review of a digital twin city: A new pattern of urban governance toward smart cities. *J. Manag. Sci. Eng.* 6, 125-134. <https://doi.org/10.1016/j.jmse.2021.03.003>
- Dunning, R.J., Dolega, L., Nasuto, A., Nurse, A., Calafiore, A., 2023. Age and the 20-min city: Accounting for variation in mobility. *Appl. Geogr.* 156, 103005. <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2023.103005>
- Engin, Z., van Dijk, J., Lan, T., Longley, P. A., Treleaven, P., Batty, M., & Penn, A. 2020. Data-driven urban management: Mapping the landscape. *Journal of Urban Management*, 9(2), 140-150. <https://doi.org/10.1016/j.jum.2019.12.001>
- Fleischmann, M., Samardzhiev, K., Brázdová, A., Dančejová, D. and Winkler, L., 2025. The Hierarchical Morphotope Classification: A Theory-Driven Framework for Large-Scale Analysis of Built Form. *arXiv preprint arXiv:2509.10083*.
- Frank, L.D., Schmid, T.L., Sallis, J.F., Chapman, J., Saelens, B.E., 2005. Linking objectively measured physical activity with objectively measured urban form. *Am. J. Prev. Med.* 28, 117-125. <https://doi.org/10.1016/j.amepre.2004.11.001>
- Franklin, R., 2022. Quantitative methods I: Reckoning with uncertainty. *Prog. Hum. Geogr.* 46, 689-697. <https://doi.org/10.1177/03091325211063635>
- Iliadis, A., Russo, F., 2016. Critical data studies: An introduction. *Big Data Soc.* 3, 2053951716674238. <https://doi.org/10.1177/2053951716674238>
- Ki, D., Chen, Z., Lee, S., Lieu, S., 2023. A novel walkability index using google street view and deep learning. *Sustain. Cities Soc.* 99, 104896. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2023.104896>
- Knapskog, M., Hagen, O.H., Tennøy, A., Rynning, M.K., 2019. Exploring ways of measuring walkability. *Transp. Res. Procedia* 41, 264-282. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2019.09.047>
- Kong, L., Liu, Z., Wu, J., 2020. A systematic review of big data-based urban sustainability research: State-of-the-science and future directions. *J. Clean. Prod.* 273, 123142. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.123142>
- Krizek, K., Forysth, A., Slotterback, C.S., 2009. Is There a Role for Evidence-Based Practice in Urban Planning and Policy? *Plan. Theory Pract.* 10, 459-478. <https://doi.org/10.1080/14649350903417241>
- Kwan, M. P., 2012. The uncertain geographic context problem. *Annals of the Association of American Geographers*, 102(5), 958-968.
- Longley, P.A., Singleton, A.D., 2009. Classification through consultation: public views of the geography of the e-Society. *Int. J. Geogr. Inf. Sci.* 23, 737-763. <https://doi.org/10.1080/13658810701704652>
- Lovelace, R., Goodman, A., Aldred, R., Berkoff, N., Abbas, A. and Woodcock, J., 2017. The Propensity to Cycle Tool: An open source online system for sustainable transport planning. *Journal of transport and land use*, 10(1), pp.505-528. <https://www.jstor.org/stable/26211742>
- Malleson, N., Franklin, R., Arribas-Bel, D., Cheng, T., Birkin, M., 2024. Digital twins on trial: Can they actually solve wicked societal problems and change the world for better? *Environ. Plan. B Urban Anal. City Sci.* 23998083241262893. <https://doi.org/10.1177/23998083241262893>
- Mazziotta, M., Pareto, A., 2017. Synthesis of Indicators: The Composite Indicators Approach, in: *Complexity in Society: From Indicators Construction to Their Synthesis*, Social Indicators Research Series. Springer International Publishing, Cham, pp. 159-192. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-60595-1>

- Morpurgo, J., Remme, R.P., Van Bodegom, P.M., 2023. CUGIC: The Consolidated Urban Green Infrastructure Classification for assessing ecosystem services and biodiversity. *Landsc. Urban Plan.* 234, 104726. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2023.104726>
- Nardo, M., Saisana, M., Saltelli, A., Tarantola, S., Hoffman, A., Giovannini, E., 2008. Handbook on constructing composite indicators: Methodology and user guide. OECD publishing.
- Nicoletti, L., Sirenko, M., & Verma, T., 2023. Disadvantaged communities have lower access to urban infrastructure. *Environment and Planning B: Urban Analytics and City Science*, 50(3), 831-849. <https://doi.org/10.1177/23998083221131044>
- Neckerman, K.M., Lovasi, G.S., Davies, S., Purciel, M., Quinn, J., Feder, E., Raghunath, N., Wasserman, B., Rundle, A., 2009. Disparities in Urban Neighborhood Conditions: Evidence from GIS Measures and Field Observation in New York City. *J. Public Health Policy* 30, S264-S285. <https://doi.org/10.1057/jphp.2008.47>
- Robinson, C., Franklin, R.S., 2021. The sensor desert quandary: What does it mean (not) to count in the smart city? *Trans. Inst. Br. Geogr.* 46, 238-254. <https://doi.org/10.1111/tran.12415>
- Samardzhiev, K., Fleischmann, M., Arribas-Bel, D., Calafiore, A., Rowe, F., 2022. Functional signatures in Great Britain: A dataset. *Data Brief* 43, 108335. <https://doi.org/10.1016/j.dib.2022.108335>
- Shashank, A., Schuurman, N., 2019. Unpacking walkability indices and their inherent assumptions. *Health Place* 55, 145-154. <https://doi.org/10.1016/j.healthplace.2018.12.005>
- Shields, R., Gomes Da Silva, E.J., Lima E Lima, T., Osorio, N., 2023. Walkability: a review of trends. *J. Urban. Int. Res. Placemaking Urban Sustain.* 16, 19-41. <https://doi.org/10.1080/17549175.2021.1936601>
- Singleton, A., Arribas-Bel, D., 2021. Geographic Data Science. *Geogr. Anal.* 53, 61-75. <https://doi.org/10.1111/gean.12194>
- Thakuriah, P., Tilahun, N.Y., Zellner, M., 2017. Big Data and Urban Informatics: Innovations and Challenges to Urban Planning and Knowledge Discovery, in: Thakuriah, P., Tilahun, N., Zellner, M. (Eds.), *Seeing Cities Through Big Data*, Springer Geography. Springer International Publishing, Cham, pp. 11-45. https://doi.org/10.1007/978-3-319-40902-3_2
- Venerandi, A., Mellen, H., Romice, O., Porta, S., 2024. Walkability Indices—The State of the Art and Future Directions: A Systematic Review. *Sustainability* 16, 6730. <https://doi.org/10.3390/su16166730>
- Wang, S.J., Moriarty, P., 2018. Big Data for Urban Sustainability. Springer International Publishing, Cham. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-73610-5>
- Wong, D. W., 2004. The modifiable areal unit problem (MAUP). In *WorldMinds: geographical perspectives on 100 problems: commemorating the 100th anniversary of the association of American geographers 1904-2004* (pp. 571-575). Dordrecht: Springer Netherlands.
- Wilkinson, M. D., Dumontier, M., Aalbersberg, I. J., Appleton, G., Axton, M., Baak, A., ... & Mons, B. 2016. The FAIR Guiding Principles for scientific data management and stewardship. *Scientific data*, 3(1), 1-9. <https://doi.org/10.1038/sdata.2016.18>
- Yang, Y., Dolega, L., Darlington-Pollock, F., 2023. Ageing in Place Classification: Creating a geodemographic classification for the ageing population in England. *Appl. Spat. Anal. Policy* 16, 583-623. <https://doi.org/10.1007/s12061-022-09490-y>
- Zhang, X., Mu, L., 2020. The perceived importance and objective measurement of walkability in the built environment rating. *Environ. Plan. B Urban Anal. City Sci.* 47, 1655-1671. <https://doi.org/10.1177/2399808319832305>

Ottimizzazione delle città intelligenti: l'utilizzo dei gemelli digitali e dell'intelligenza artificiale nei processi decisionali urbani

Optimising Smart Cities:
The Use of Digital Twins
and Artificial Intelligence
in Urban Decision-Making
Processes

Paolo Nesi

DISIT Lab, DINFO, Università degli Studi di Firenze
paolo.nesi@unifi.it
orcid.org/0000-0003-1044-3107

Chiara Garau

DICAAR, Università degli Studi di Cagliari
cgarau@unica.it
orcid.org/0000-0002-6239-5402

Paola Zamperlin

SAGAS, Università degli Studi di Firenze
paola.zamperlin@unifi.it
orcid.org/0000-0003-4763-2112

Received: April 2025 / Accepted: July 2025 | © 2025 Author(s).
This article is published with Creative Commons license CC BY-SA 4.0
Firenze University Press.
DOI: 10.36253/contest-16061

keywords

digital twin
Snap4City
smart cities
artificial intelligence
urban planning

1. Introduzione. Dall'idea di città intelligente al gemello digitale

Le frontiere della conoscenza sono state rivoluzionate dai recenti progressi scientifici e tecnologici, portando ad un'importante ondata di nuovi approcci, modelli, metodi e tecnologie di monitoraggio e rilevamento dirompenti, con impatti significativi sulla società urbana contemporanea (Bibri et al., 2024). In particolare, il gemello digitale (digital twin) è tra le maggiori innovazioni, e in ambito urbanistico si consolida con la nascita e lo sviluppo del concetto di smart city. Infatti, il termine smart city si riferisce ad una città che utilizza le risorse naturali ed economiche in modo

sostenibile, interagisce con il capitale sociale ed umano e allo stesso tempo l'amministrazione e i cittadini lavorano insieme utilizzando le nuove tecnologie con l'obiettivo di rendere la città più efficiente, intelligente, sostenibile, sicura, inclusiva, democratica e felice (Garau et al., 2020; Zhao et al., 2021; Chan, 2023; Garau et al., 2023; Manfreda & Mijač, 2024; Pinna et al., 2025). Tuttavia, i modelli

The article examines the application of artificial intelligence (AI) in "Digital Twin" models to enhance urban decision-making processes. The authors consider the potential of digital twins, which are virtual replicas of physical systems, to optimise the planning and management of smart cities. AI, when integrated into digital twins, enables predictions, the simulation and real-time monitoring of complex functions such as traffic, energy consumption, and social behaviours, establishing the basis for more informed and timely

decisions. The digital twin concept was originally applied to industrial manufacturing and has expanded to urban design. An effective digital twin must represent physical reality and related processes, incorporating up-to-date data and using advanced AI models for predictions and simulations. This approach allows for more efficient and resilient urban management, improving responsiveness to unexpected events and facilitating long-term strategic planning. The Snap4City platform is presented as an example of implementing digital twins for smart cities. It integrates data from different sources, supports real-time analysis and visualisation, and enables AI-based operational and strategic management. Snap4City shows significant benefits for public administrations, improving the efficiency of urban services and promoting sustainability and the well-being of citizens.

tradizionali di pianificazione e gestione del territorio difficilmente riescono a integrare la lettura dei dati provenienti dai diversi servizi che ruotano attorno alla città (Ferré-Bigorra et al., 2022) (De Benedicts et al., 2025). I gemelli digitali aiutano ad integrare queste informazioni, determinando gli impatti di queste informazioni aggregate quasi in tempo reale,

consentendo quindi di poter prendere decisioni tempestive sia nei contesti di gestione operativa che per la pianificazione tattico strategica. Ma andando con ordine, il termine gemello digitale è stato coniato per la prima volta all'inizio di questo millennio da Michael Grieves (2014), che vedeva nella replica della fabbrica virtuale una spinta verso l'eccellenza manifatturiera e ha così di fatto contribuito alla diffusione dell'uso di questa metafora nell'ingegneria della produzione. È facile intuire che, in questo ambito, per gemello digitale si intenda l'immagine speculare di un processo fisico con la capacità di riprodurre o simulare il suo funzionamento, mentre si va sviluppando parallelamente al processo fisico stesso.

È trascorso soltanto un decennio dalla sua introduzione e molto velocemente questo concetto si è adattato ad altri ambiti del design non strettamente manifatturiero fino ad estendersi, con notevole salto di scala, alla progettazione e gestione di più articolate porzioni di spazio, da singoli edifici a intere città. Il salto di scala ha comportato non solo un aumento dell'area considerata, ma soprattutto un incremento della complessità di fattori e variabili da prendere in esame, pena il decadere dell'attributo costitutivo del modello digitale e cioè quello di essere copia fedele della realtà e dei processi che in essa si verificano. Quindi, il concetto viene ora utilizzato per caratterizzare una varietà di modelli di simulazione digitale che si sviluppano paralleli a processi in tempo

reale riguardanti sistemi fisici così come sistemi sociali ed economici.

L'idea alla base poggia sul principio secondo il quale un vero gemello digitale che funziona in tempo reale non sia diverso dal sistema stesso e pone, pertanto, la questione di come il gemello digitale possa essere utilizzato, in primis, per conoscere il sistema e, in secundis, per esplorare, simulare e testare nuovi progetti e nuove forme/comportamenti che il sistema può assumere.

Chiaramente, se la creazione di un gemello digitale di un progetto industriale o di un singolo edificio è tutto sommato facile da immaginare e realizzare, molto complessa è invece la sua gestione quando si deve adattare alla scala urbana, poiché oltre alla riproduzione di tutti gli equivalenti fisici di base che compongono la città si devono includere i processi che ne determinano il funzionamento, che è la risultante di componenti vitali immateriali che con consapevole riduzione chiamiamo funzioni culturali, sociali ed economiche.

Nel dibattito scientifico e politico attuale (Batty, 2018; Batty, 2024; Batty, 2024b) le principali questioni vertono su alcuni nodi principali. Per prima cosa che tipo di rappresentazione ci possiamo attendere da un gemello digitale, e cioè, in altri termini, qual è il livello minimo accettabile di accuratezza nella riproduzione della realtà, direttamente consegue dalla raffinatezza dei dati disponibili, e su quali copertura spaziale e frequenza di aggiornamento pos-

siamo fare affidamento. Inoltre, quali siano i requisiti e i costi computazionali ed energetici che questo comporta, ma soprattutto in che cosa la disponibilità di un gemello digitale affidabile può facilitare o efficientare la gestione di sistemi complessi quali quelli urbani (Grievess & Vickers, 2017). I modelli virtuali 3D, anche se incorporano processi in tempo reale, come ad esempio il traffico o i consumi di energia o i comportamenti delle persone, rimangono rappresentazioni significative soltanto per brevi periodi di tempo e spesso in una sezione trasversale della città (Lei et al., 2023). In questo senso, essi sono molto più simili a un modello computerizzato convenzionale, in grado di astrarre solo un insieme limitato di variabili e processi, ma ancora limitato nella predisposizione di quadri conoscitivi, scenari di progettazione o di intervento. I modelli di intelligenza artificiale di grandi dimensioni e in particolare il deep learning permettono di mettere a punto modelli che possono tenere conto di enormi quantità di variabili abbattendo le limitazioni dei modelli computazionali tradizionali, sia per le predizioni che per le simulazioni con i modelli generativi.

Nei paragrafi che seguono si darà spazio alla descrizione di una piattaforma, Snap4City, progettata per la gestione di città intelligenti (par. 2) soffermandosi sugli elementi di forza maturati nelle diverse esperienze di implementazione nel corso del tempo con attenzione ai casi di digital twin sperimentati (par. 3) e

a questioni aperte riguardanti i vantaggi e le potenzialità dei gemelli digitali per le pubbliche amministrazioni e i cittadini (par. 4).

2. Un modello di architettura per la gestione di città intelligenti: Snap4City

Tra le diverse soluzioni che hanno visto la luce negli ultimi anni con lo scopo di risolvere i molteplici problemi connessi alla gestione di contesti urbani, si presenta il caso di Snap4City in virtù della pluriennale esperienza di sviluppo e implementazione in diverse aree geografiche e scale di utilizzo, fattori questi che consentono di formulare valutazioni significative su vari aspetti che il problema dell'infrastruttura di gestione pone ai decisori politici come ai pianificatori.

Nel 2013 viene rilasciata la prima versione di Snap4City, che raccoglie l'esperienza di sviluppo di Km4City, una base di conoscenza progettata inizialmente come ontologia per le smart city, alimentata da informazioni e modelli focalizzati sui dati (aperti e non) del Comune di Firenze e della Regione Toscana, poi cresciuta e migliorata grazie alla sua applicazione in progetti nazionali ed europei di più ampio respiro, incentrati sullo sviluppo di soluzioni in risposta a questioni derivanti dalla mobilità alla resilienza dei sistemi territoriali (i.e.: Sii-Mobility, RESOLUTE, REPLICATE, Smart3rFlits ed anche Select4Cities)¹. Km4City è una ontologia che integra un elevato numero di vocabolari semantici (e.g., DC, FOAF, WGS84, SAREF, GTFS,

etc.) e li integra per fornire un motore di classificazione delle entità della città e delle loro relazioni che permette di unificare ogni tipo di dato che entra nel sistema e di collegarlo all'esistente.

La prima consapevolezza che emerge da questa iniziale esperienza è che, se si parte dall'assunto di base che le città possono essere considerate come infrastrutture critiche, sia necessaria un'infrastruttura molto articolata, scalabile e adattabile a diversi contesti. In altri termini, un'architettura digitale per la città deve essere disegnata su di un modello di città concepita come sistema di sistemi (mobilità di merci e persone, trasporti², energia, telecomunicazioni, scuola, sanità, consumi energetici, etc.), che in quanto tale soffre degli effetti a cascata tra i diversi sottosistemi, come si comprende facilmente quando si verificano eventi calamitosi che comportano la predisposizione di piani di gestione dell'emergenza integrati, nei quali si devono minimizzare i danni su tutte le componenti coinvolte. Snap4City è stata in seguito arricchita da una seconda ontologia UKM (unified knowledge model), che modella i processi e le loro relazioni con dati ed utenti (Bellini et al., 2024a). Questo modello insieme con Km4City permette di comprendere le interrelazioni fra processi e anche gli effetti a cascata che potrebbero svilupparsi.

Risulta chiaro che, in questa visione, una piattaforma che sia solo di aggregazione dei dati non è più sufficiente, ma è necessario disporre

di un'architettura che funga da sistema di controllo per la gestione operativa, cioè attiva e tempestiva, nel momento in cui vengono registrate delle anomalie. In altre parole, il sistema deve permettere sia di attivare una risposta in tempo reale (che nel caso urbano si considera nell'ordine dei 15 minuti) nell'immediato post eventum anomalo, sia deve essere in grado di prevedere con affidabilità il verificarsi di eventi anomali e provvedere con sistemi di allerta coerenti (*early warning*). Snap4City fornisce processi di anomaly detection, che usualmente producono solo notifiche verso gli operatori ai quali spetta la decisione. In certi casi, la decisione viene presa in modo automatico, come, per esempio, per il cambio di illuminazione in caso di traffico intenso o di incidenti (si veda a riguardo il caso di Merano). Nell'ambito del turismo e della mobilità la piattaforma informa gli utenti notificando la presenza di situazioni critiche, via mobile app e/o digital signage in caso di traffico intenso, scarsità di parcheggi, affollamenti, come per esempio avviene nelle soluzioni TOURISMO ed OPTIFaaS basate su Snap4City.

Ancora più cruciale per la governance urbana è, tuttavia, la possibilità di disporre di strumenti per la pianificazione tattica e strategica, ovvero per la pianificazione di breve (per esempio di 6 mesi, o anni) o lungo periodo (oltre i dieci anni). Per raggiungere lo scopo, sono necessari dati storici, vanno definiti degli indicatori di performance ed eseguite delle valutazioni del

rischio derivante dall'adozione di determinate misure, ovvero effettuare quella che viene definita *what-if analysis*, e cioè una simulazione basata su scenari.

Una progettazione che segua questo principio richiede l'adozione di uno specifico approccio progettuale da un lato e il ricorso a strumenti decisionali e a dati che ne permettano l'applicazione. In un ambiente come Snap4City sono abilitate entrambe le condizioni, che si concretizzano nella possibilità di combinare living labs con strumenti di configurazione di scenari su sistemi differenti (mobilità, sanità, trasporti, meteo, lavori pubblici, energia, etc.), sui quali applicare modelli simulativi basati su una base informativa di dati storici e in grado di essere affidabili anche nel lungo termine. Quando la risposta ad eventi solitamente classificati come "unexpected unknown" è data tempestivamente ed efficacemente l'ecosistema dimostra un alto grado di resilienza. Per la gestione dei processi la piattaforma fornisce l'integrazione con sistemi di workflow management, mentre le interrelazioni fra applicazioni, dati, e persone viene modellata con istanze dati dell'ontologia UKM. È, pertanto, possibile interrogare il sistema per capire su quali applicazioni e processi possono influire certi dati e viceversa. A questo riguardo viene fornita un'interfaccia che permette il colloquio in linguaggio naturale.

Il gemello digitale viene ad occupare una posizione centrale e cruciale in questa architettura,

nel momento in cui esso è capace di adattarsi alla realtà che rappresenta, aggiornando le modificazioni in tempi rapidi. Al nucleo dei progettisti e decisori spetta il compito di definire degli indicatori di performance ad hoc (KPI: SUMI, PUMS/SUMP, *15 minute city index*, come quelli a breve termine: tempi di percorrenza, misura delle code, etc.)³, utili sia per il monitoraggio delle condizioni di stato che per la misurazione di eventuali scostamenti e l'individuazione conseguente di anomalie, operata grazie a strumenti di intelligenza artificiale (IA), come modelli generativi o di *reinforced learning* (Feredooni et al., 2025).

Diverso è invece l'impiego dell'IA per la generazione stessa degli scenari che devono essere a loro volta testati sui KPI definiti per saggiarne la loro efficacia perché possano essere proposti come soluzioni nel contesto del sistema di supporto alle decisioni.

Perché l'intera architettura risponda agli obiettivi in termini di efficienza ed efficacia e porti a stime accurate, essa deve poggiarsi su una struttura dati completa e su modelli predittivi affidabili. Il gemello digitale, pertanto, deve modellare componenti funzionali, strutturali, visuali e informative, aggiornando in tempo reale (con frequenza di aggiornamento dipendente dal tipo di variabile considerata e dal tipo di dato che la esprime) e applicare analitiche conseguenti (predizioni, classificazioni, rilevamento di anomalie, generazione, tutte soluzioni di IA anche con il supporto di tecnolo-

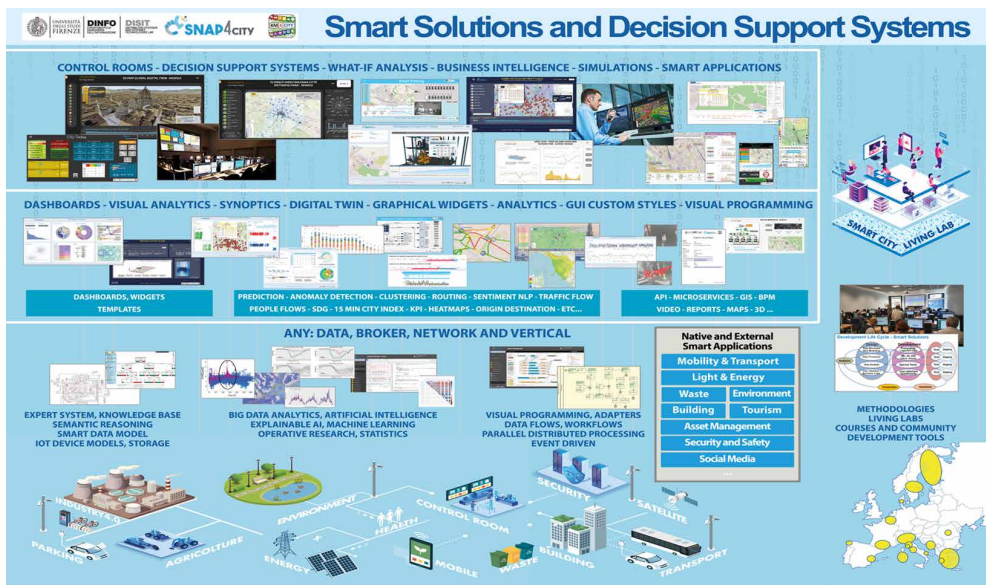
gie di IA spiegabile) per la rappresentazione del comportamento funzionale della città.

Nella messa in opera di un *digital twin*, la fase di progettazione è delicata e, in base all'esperienza maturata, si articola in momenti distinti e in parte sequenziali, che definiamo: Data discovery, Data processing, Data analytics e User interface/interaction. Come si può notare il processo implementativo ruota intorno ai dati. Dalla loro disponibilità (accessibilità, copertura e aggiornamento), selezione, acquisizione, omogeneizzazione, aggregazione e modellizzazione, dipendono tutte le operazioni successive di processamento, analisi e visualizzazione che rendono un gemello digitale più o meno aderente alla realtà che emula, e più o meno performante in una dimensione di monitoraggio e di pianificazione tattica e strategica.

3. Lettura di un'esperienza decennale: punti di forza e sfide aperte

Le città sono sistemi complessi per definizione (Bettencourt, 2021) e per conseguenza soltanto un'architettura progettata come infrastruttura critica può segnare un salto di qualità negli approcci tradizionali di pianificazione e gestione degli spazi urbani. L'esperienza di oltre un decennio di progettazione e ingegnerizzazione di processi e di sviluppo di soluzioni hardware e software in settori critici della vita nelle città, e tra le città, fa da sfondo alle valutazioni che seguono sulla loro efficacia.

La piattaforma Digital Twin Snap4City (Adre-



ani et al., 2024), integralmente conforme ai requisiti imposti dalla normativa europea in materia di protezione dei dati (GDPR), è rilasciata e distribuita con licenza open source Affero GPL senza obbligo di registrazione e di sottoscrizione. Pertanto, sebbene si possa avere soltanto una stima parziale del numero e del tipo degli utilizzatori nel mondo, che comprende aree di diversa estensione (da sito industriale a intera regione), la lista degli utenti registrati, che comprende soltanto le installazioni *on cloud* e non *on premise*⁴, localizzati in diversi paesi europei ed extraeuropei autorizza iniziali positive considerazioni. Snap4City è una piattaforma flagship del CN MOST (Centro nazionale per la mobilità e i trasporti), adottata per la gestione dell'illuminazione stradale Merano SmartLight, adottata per la gestione e il controllo ICT della città di Cuneo, piattaforma della sala controllo per l'isola di Rodi, ed fra le tante installazioni anche come due piloti sul Digital Twin del centro nazionale HPC, ecc. In generale, la piattaforma è presente in oltre

quaranta aree distribuite principalmente tra Europa, Australia, Brasile e Cina⁵ e attualmente sono migliaia gli operatori e sviluppatori coinvolti nelle diverse installazioni urbane e regionali (Italia: Firenze, Merano, Cuneo, Lonato del Garda, Cagliari; Spagna: Valencia; Grecia: isole Rhodes e Patra e regioni della Grecia occidentale; Cipro: Limassol; Croazia: Dubrovnik, Bisevo; Malta; Bosnia-Erzegovina: Mostar; Bulgaria: Varna; Finlandia: Helsinki, Australia, Brasile, Cina, Romania, Belgio, etc.). Inoltre, è utilizzata da ISPRA JRC della Commissione europea. Il successo è legato alle caratteristiche della piattaforma che, in aggiunta alla facilità di installazione, soddisfa tutti i requisiti previsti dall'Azione europea CitiVerse, anche in comparazione con soluzioni analoghe⁶. Va chiarito che nella maggior parte dei casi, l'adozione di questa architettura non si limita alla semplice installazione di un software, ma richiede un esame del contesto specifico su cui esso va a operare, in virtù del principio secondo il quale ogni luogo ha caratteristiche fisiche

Schema dell'architettura di Snap4City.

Fonte: www.snap4city.org

Fig. 1

e una dotazione infrastrutturale proprie così come un milieu socio-culturale ed economico distintivo di cui si deve tener conto. Diverse sono, quindi, le esigenze di partenza e i requisiti o le condizioni di fatto che ciascuna realtà espone, muovendo in alcuni casi verso lo studio di soluzioni orizzontali (infrastruttura generica) o di specifici verticali (asset specifici da gestire, che vanno dall'illuminazione pubblica, ai parcheggi, telecamere, flotte, distributori, ottimizzazione del traffico, matching tra domanda e offerta di trasporto pubblico, raccolta dei rifiuti, gestione dell'energia, sensori per il traffico o per la qualità dell'aria, etc.).

Una volta identificati i dati, essi entrano nel sistema dove possono essere visualizzati, secondo un design grafico personalizzabile, dopo pochissimi istanti per entrare a regime.

La facilità di uso, garantita da componenti software predisposti per semplificare al massimo lo sviluppo e l'evoluzione, si è dimostrata nel tempo un requisito importante e un vantaggio notevole nella scelta di adottare la piattaforma poiché sposta in maniera naturale lo sforzo degli utilizzatori sullo studio delle possibilità di impiego del software e diminuisce i tempi di apprendimento del sistema (Bellini et al., 2024b).

Un'altra caratteristica rilevante è quella di essere ad un tempo adattabile a contesti di dimensioni diverse e performante per ogni livello di attivazione dei processi finalizzati alla messa a punto di una città intelligente, schema-

tizzati nella Fig. 1, e che riguardano in estrema sintesi le fasi di acquisizione dei dati, di analisi e di visualizzazione.

In un unico sistema, quindi, è possibile aggregare dati di qualsiasi origine e specie (GIS, BIM, Social Media, satellite, servizi esterni, web, sensori, video e termo camere, matrici origine-destinazione, flussi del traffico, heatmap, etc.) attraverso molteplici protocolli di trasmissione e standard, che confluiscono a seconda della tipologia nello storage o direttamente o dopo un processamento. In estrema sintesi, Snap4City adotta un approccio end-to-end sicuro basato su processi di ingestione ed interoperabilità basati su Node-RED che possono essere allocati su cloud e edge, per lo sviluppo e la gestione di processi per dati multi-protocollo e multi-formato⁷, con una fase di uniformazione semantica sulla base dell'ontologia Km4City⁸, indicizzazione avanzata⁹ ed erogazione intelligente mediante l'attivazione di servizi smart e riutilizzo dei dati interrogabili da dashboard interattive, sistemi di allerta, previsioni etc. Questa condizione è imprescindibile e derivante dall'essere le città infrastrutture critiche con specificità proprie. All'interno dello storage vengono ricreate le relazioni tra gli oggetti reali che costituiscono di fatto il modello sul quale si realizza il gemello digitale. È chiaro, quindi, che dalla qualità, quantità e correttezza delle relazioni, che permettono di operare interrogazioni semantiche, dipende l'accuratezza di quest'ultimo¹⁰.

Tutti i processi di analisi, anche previsionale, simulazioni, what-if, etc. e di business intelligence o di business logic utilizzano tutti i dati presenti nello storage congiuntamente con dati in tempo reale che continuano ad alimentare il sistema (sfruttando algoritmi di IA, ricerca operativa e modelli ad agenti), ed allo stesso tempo il gemello digitale può mandare comandi al sistema fisico. In Snap4City, gli attuatori operano esattamente come i sensori, ma con flusso inverso, poiché ricevono comandi dal sistema per intervenire fisicamente o logicamente su dispositivi distribuiti in città. Ogni attuttore è una Entity, registrato in una Entity Directory con proprio modello, modello di protezione, e posizione su mappa, accessibile con protocolli standard o custom sia push che pull (oltre 190 su Snap4city). L'interazione con l'utente avviene mediante widgets grafici inseriti nelle dashboard di visualizzazione o con mobile App, che permettono di agire sul sistema con modelli a microservizi sincroni e/o asincroni anche verso l'interfaccia utente tramite protocollo WebSocket sicuro (WSS).

La parte di visualizzazione, che costituisce il livello più alto e quindi più vicino agli utenti finali, dispone di varie componenti modulabili e altamente personalizzabili adatte alla restituzione sintetica e grafica del dato analizzato, l'interazione e la comunicazione. È importante sottolineare che sia per i diversi livelli ogni utente può creare direttamente i propri strumenti di analisi dati (programmabili in Python,

R-Studio a seconda del tipo di strumento o di interfaccia considerata, per i modelli predittivi, simulazioni, classificazioni, etc.), oppure per le trasformazioni dati, per l'interoperabilità tramite una ricchissima gamma di librerie e blocchi/microservizi Node-Red e JavaScript predisposti, che agevolano l'adattamento del sistema ai problemi effettivi e alle specificità del contesto, secondo un approccio fortemente *place-based*.

Il gemello digitale che ne deriva non è quindi una semplice rappresentazione tridimensionale della realtà fisica, ma un sistema articolato di modellizzazione, analisi, simulazione e visualizzazione di essa, in grado anche di sviluppare algoritmi di intelligenza artificiale che soddisfano principi etici (p.e., anche tramite XAI) e formulare previsioni su svariate questioni che vanno dalla predizione dei flussi di pedoni, alle disponibilità di parcheggi (con effetti sulla riduzione dei tempi di ricerca e produzione di scarichi inquinanti, Bilotta et al., 2023), stima dei fattori di inquinamento (Bilotta et al., 2025), o la predizione di eventi di frana (Collini et al., 2022; Collini et al., 2024), come anche produrre suggerimenti per la pianificazione tattico/strategica o per fare fronte a situazioni di emergenza, rendendo gli strumenti di What-If analysis uno strumento di conferma più che uno strumento di lavoro. Numerosi sono gli esempi a riguardo. Citando il caso della Città Metropolitana di Firenze, Snap4City ricevendo dati in tempo reale da sensori su flussi

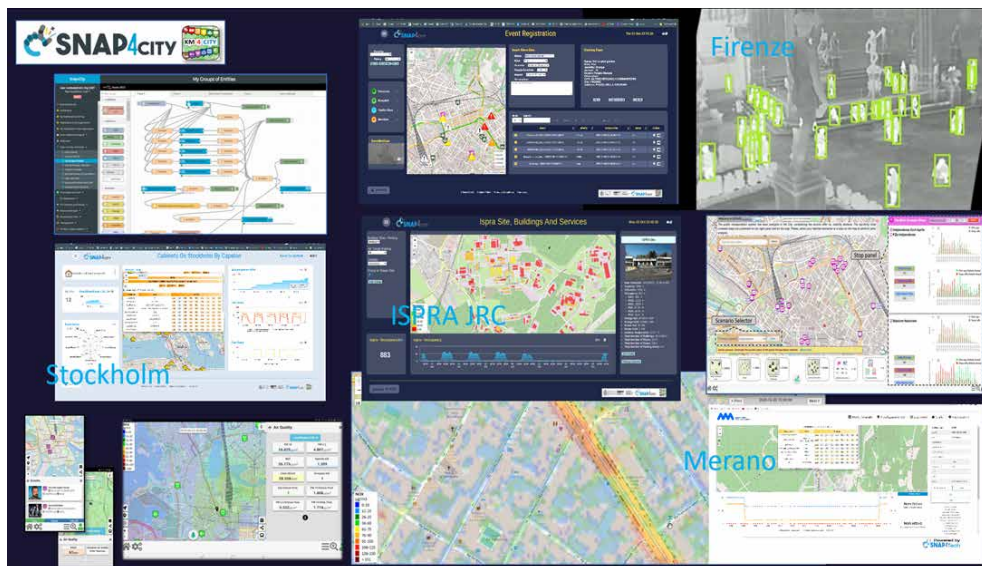
di traffico, meteo, eventi e cantieri, permette agli operatori di simulare scenari alternativi in caso di congestione o chiusura strade (Fereidooni et al. 2025). Gli operatori testano virtualmente questi scenari con modelli predittivi/simulazione e sulla base delle risultanze intraprendono azioni reali (p. es. reindirizzamento semaforico o apertura varchi ZTL). Riguardo il problema delle emergenze ambientali, alluvioni e rischio idrogeologico, Snap4City raccoglie ed elabora i dati da pluviometri, radar meteo, immagini da droni e le allerte dalla Protezione Civile e predispose dei modelli di What-If che permettono agli operatori di valutare cosa potrebbe succedere a fronte di veri eventi naturali o provocati impostando conseguenti azioni di risposta, come la chiusura selettiva di ponti e tunnel, deviazioni del traffico ed evacuazioni mirate. In contesti di emergenza per pubblica sicurezza, è possibile monitorare anche i flussi pedonali attraverso termocamere e algoritmi previsionali sia in fase di pianificazione che di gestione degli eventi. Uno dei settori in cui la pianificazione urbana assume valore strategico è quello conseguente all'ottimizzazione del trasporto pubblico, che può essere gestito attraverso opportunamente allestite Smart City Control Rooms, attraverso le quali ipotizzare scenari What-If conseguenti allo spostamento di linee di TPL (quanto aumentano i tempi di percorrenza? Come cambia l'accessibilità per le fasce deboli?) e sfruttando la possibilità di un confronto visuale tra scenari, KPI calcolati (in-

quinamento, tempi, costi). A questo riguardo Snap4City è stato adottato come piattaforma di riferimento per il Centro Nazionale MOST, per fornire servizi di ottimizzazione della mobilità a piccole e medie città con la flagship OPTIFaaS¹¹.

4. Vantaggi e potenzialità per i diversi stakeholder (governo, settore privato, cittadini) attraverso la piattaforma Digital Twin Snap4City

La completezza e la precisione delle informazioni che i gemelli digitali offrono alle città acquisiscono notevole importanza tanto più quando l'affidabilità dei dati (in termini di qualità, copertura, aggiornamento, etc.) aiutano le pubbliche amministrazioni non solo a limitare, contrastare eventi esterni catastrofici, ma anche a migliorare il processo decisionale, l'allocazione delle risorse, la gestione di tutte le infrastrutture sotto analisi (mobilità, energia, risorse idriche, turismo, etc.). Per massimizzare i vantaggi, i gemelli digitali devono comprendere e operare su interi processi e contesti, considerando il fragile equilibrio tra obiettivi di sostenibilità, comunità, tecnologia e profitto (Chen, 2023; De Benedictis et al. 2025).

Come accennato in precedenza, Snap4City grazie alla sua esperienza decennale, aiuta le città a migliorarsi significativamente sfruttando le loro capacità avanzate di integrazione dei dati, monitoraggio in tempo reale, simulazione e visualizzazione. Ma da un punto di vista pra-



tico, in che modo Snap4City aiuta i diversi stakeholders (governo, settore privato e cittadini). Quali sono i benefici per la comunità? La Fig. 2 mostra un collage di alcuni dei numerosi esempi di applicazioni specifiche, tra cui la gestione delle cabine di illuminazione a Stockholm, la gestione del sito del JRC dell'Unione Europea di ISPRA (VA), l'uso di telecamere termiche poste in piazza signoria Firenze, la gestione dell'illuminazione pubblica a Merano, il modello predittivo della produzione di NOx basato sul traffico a Firenze, mappe di calore in Helsinki. Di seguito si descrivono brevemente alcuni dei punti di forza della piattaforma.

4.1 Integrazione dei dati e monitoraggio in tempo reale:

- **Data Hub centralizzato:** Snap4City è una piattaforma integrata in cui i dati provenienti da sensori, dispositivi IoT, servizi di broker (MQTT, AMQP, OneM2M, Sigfox, LoraWAN, FIWARE Orion Broker), social media, satelliti, Open Data, sistemi legacy, immagini da droni e telecamere che vengono raccolti e integrati

e resi accessibili per l'analisi e il processo decisionale. Questo repository di dati completo consente il monitoraggio e l'analisi in tempo reale delle operazioni cittadine, fornendo una visione olistica delle dinamiche urbane (<https://digitaltwin.snap4city.org/>). Snap4City effettua l'aggiornamento dei dati in tempo reale (e quasi real-time) attraverso un'architettura di flusso continuo "event-driven", secondo un flusso di ingestione (sia push che pull), indicizzazione semantica automatica, streaming, dashboard, alerting e produzione di simulazioni what-if e KPI come descritto nei paragrafi precedenti.

- **Analisi predittiva:** utilizzando l'apprendimento automatico e l'intelligenza artificiale, Snap4City è in grado di analizzare i dati storici e in tempo reale per prevedere le tendenze, identificare potenziali problemi e ottimizzare i servizi urbani. Ad esempio, la capacità predittiva aiuta ad anticipare la congestione del traffico, pianificare la raccolta della nettezza, a gestire il consumo energetico e a reagire prontamente alle emergen-

Alcuni esempi di applicazione della soluzione Snap4City.

Fonte: www.snap4city.org

Fig. 2

ze, migliorando così l'efficienza e la reattività della città (in <https://www.snap4city.org/997> è proposto un catalogo delle funzioni offerte dagli strumenti Digital Twin di Snap4City). Grazie al continuo flusso di dati aggiornati, il Digital Twin urbano mantiene una visione sincronizzata con la realtà fisica riguardo alle reti stradali, all'edificato in 3D e a diversi flussi ambientali rilevabili da sensore. Ogni elemento è aggiornato "live" nella vista 2D/3D.

4.2 Ottimizzazione dei servizi urbani:

- **Smart Transportation:** Snap4City simula il traffico e l'utilizzo dei trasporti pubblici per identificare i colli di bottiglia e proporre miglioramenti. È in grado di gestire e ottimizzare i percorsi, gli orari e l'invio dei veicoli del trasporto pubblico in base alle condizioni del traffico, portando a servizi più efficienti e affidabili, grazie al progetto SASUAM "Solutions for Safe, Sustainable and Accessible Urban Mobility" del Centro Nazionale per la Mobilità sostenibile, MOST (<https://www.snap4city.org/999>).
- **Gestione dell'energia:** monitorando e gestendo il consumo energetico in tempo reale, Snap4City può migliorare l'efficienza energetica negli edifici, nell'illuminazione stradale e nelle strutture pubbliche. Si possono anche integrare le fonti di energia rinnovabile in modo più efficace (si veda per esempio Snap4Merano, <https://www.snap4city.org/968>).

4.3 Gestione dell'infrastruttura:

- **Gestione delle risorse:** Snap4City controlla le condizioni e le prestazioni delle infrastrutture urbane, come strade, ponti, servizi pubblici, reti di approvvigionamento idrico e reti elettriche in tempo reale. Snap4City aiuta nella manutenzione predittiva e nella riduzione dei tempi di inattività e prolunga la vita delle infrastrutture, garantendo servizi urbani efficienti e affidabili (si veda Snap4Cuneo, <https://www.snap4city.org/975> e Snap4ISPRA, <https://www.snap4city.org/970>).
- **Gestione dell'acqua:** Snap4City può ottimizzare le reti di distribuzione dell'acqua, monitorare la qualità dell'acqua e rilevare le perdite, garantendo una gestione efficiente e sostenibile dell'acqua.

4.4 Risposta alle emergenze e sicurezza pubblica:

- **Gestione dei disastri:** Snap4City è in grado di simulare scenari di emergenza, o predire eventi naturali, si veda il modello di predizione delle frane naturali, e quindi sviluppare strategie di risposta. La produzione di allarmi in tempo reale permette di migliorare la reattività, contenere i danni, migliorare il coordinamento dei servizi di emergenza durante gli eventi. Ciò migliora la preparazione e la capacità della città di rispondere alle crisi, riducendo i potenziali danni e salvando vite umane.
- **Sicurezza pubblica:** l'integrazione dei sistemi



di sorveglianza e degli strumenti predittivi all'interno di Snap4City aiutano a monitorare gli spazi pubblici e a prevenire il crimine, migliorando così la sicurezza pubblica. Ciò migliora la prevenzione del crimine, migliorando le capacità di risposta alle emergenze e aumentando la sicurezza generale degli ambienti urbani (si veda Snap4Cuneo, <https://www.snap4city.org/975>).

L'integrazione di queste analisi alle diverse simulazioni in 3D consente a Snap4City, con il gemello digitale, di fornire modelli avanzati di comprensione dei contesti urbani, permettendo ai pianificatori e agli amministratori pubblici una pianificazione più accurata e completa, visualizzando e facendo visualizzare a tutte le parti interessate l'impatto dei nuovi sviluppi e dei progetti infrastrutturali prima che questi vengano realmente costruiti, minimizzando gli errori di progettazione (si veda Fig. 3).

Queste modalità operative aprono inevitabilmente il dialogo tra tutte le parti interessate,

tanto più se si creano i presupposti per fornire servizi personalizzati ai residenti, ma anche a tutti i cittadini, come, ad esempio opzioni di trasporto pubblico su misura, servizi sanitari e attività ricreative.

Snap4City è progettato per gestire processi complessi in ambito urbano, ambientale, logistico e industriale, coprendo interi flussi operativi, dalla raccolta dati alla decisione tattica/strategica e all'attuazione. Ciò è reso possibile grazie a una struttura modulare e semantica che consente di modellare contesti (trasporto urbano, rischio ambientale, salute pubblica), attori (operatori, cittadini, sensori, attuatori, autorità), eventi e condizioni (pioggia, congestione, blackout, alluvioni, smottamenti e frane, eventi di traffico, etc.) e azioni automatiche o umane (chiusura tunnel, allerta, ricalcolo percorsi). I processi sono gestiti tramite una knowledge base semantica (Km4City), Node-RED e Microservizi Snap4City che includono predizioni, anomaly detection, simulazioni, calcolo di indicatori di varia natura, KPI (15

Digital Twin globale su Firenze da Snap4City. Nell'immagine, lo schermo della visualizzazione del Digital Twin con alcuni edifici di valore ad alta risoluzione, altri edifici ottenuti per estrusione ma con le falde dei tetti orientate come da dati LIDAR. Ogni edificio ha il suo gemello digitale, il battistero è stato selezionato in alto il suo ID (da dove si accede ai dati interni). Sullo sfondo si vedono dei cilindri che rappresentano dati ambientali, e il flusso del traffico come frecce in movimento sui viali di circonvallazione. Molte altre informazioni possono essere visualizzate come: mappe di calore, matrici origine destinazione, percorsi dinamici sulla base delle scelte dell'utente, etc.

Fonte : www.snap4city.org

Fig. 3

Min City Index, mean time to travel, lunghezza delle code, eventi di emergenza, SUMI/PUMS, etc.), etc. Un esempio potrebbe essere: "Se il PM10 supera $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ e il traffico in Viale Europa è elevato, allora invia allerta al centro operativo del Comune ed ad ARPAT, attiva il messaggio su pannelli stradali, chiudi lo scudo verde ai mezzi inquinanti, riduci la frequenza dei bus". L'interazione con gli utenti avviene tramite widget grafici inseriti nella dashboard di visualizzazione o con app mobile, che consentono di agire sul sistema con modelli con microservizi asincroni e/o sincroni anche verso l'interfaccia utente tramite protocollo websocket sicuro (WSS), e protocolli event driven in push come MQTT, NGSI, ecc. I flussi di lavoro specifici possono essere impostati in Node-RED e/o tramite processi definiti in BPMN (Business Process Model and Notation). In particolare, alcune azioni pratiche di coinvolgimento tra le parti interessate e messe in atto da Snap4City possono essere così elencate:

4.5 Collaborazione con le diverse parti interessate:

Collaborazione multi-stakeholder: Snap4City Cityverse può fungere da piattaforma collaborativa in cui funzionari comunali, urbanisti, architetti e cittadini possono lavorare insieme in un ambiente virtuale. Ciò può snellire i processi decisionali e garantire che gli obiettivi di sostenibilità siano integrati nei piani di sviluppo urbano.

4.6 Collaborazione e innovazione:

Urban Innovation Labs: Snap4City può essere utilizzato per allestire e ospitare laboratori virtuali in cui vengono sviluppate e testate nuove tecnologie e soluzioni per le sfide urbane, promuovendo l'innovazione continua nella gestione urbana.

Ecosistema Smart City: Snap4City.org è un ecosistema digitale che attrae startup, aziende tecnologiche e investitori focalizzati sullo sviluppo di soluzioni urbane innovative. Ciò stimola le economie locali, genera posti di la-

voro e favorisce l'innovazione continua nelle tecnologie delle smart city.

4.7 Educazione, gamification e consapevolezza:

Tour e simulazioni virtuali: Snap4City può ospitare tour e simulazioni virtuali per educare i cittadini sulle pratiche sostenibili, sugli impatti del cambiamento climatico e sui vantaggi delle infrastrutture verdi. Allo stesso tempo Snap4City Cityverse può utilizzare tecniche di gamification per aumentare il coinvolgimento dei cittadini. In questo modo è possibile non solo aumentare la consapevolezza e guidare il sostegno della comunità alle iniziative di sostenibilità, ma anche sviluppare giochi o sfide legate all'urbanistica, in cui i partecipanti possono guadagnare punti o ricompense per i loro contributi.

4.8 Promozione di uno stile di vita sostenibile:

Servizi per città intelligenti: Snap4City può mostrare servizi di città intelligenti che promuovono uno stile di vita sostenibile, come la gestione intelligente dei rifiuti, le stazioni di ricarica per veicoli elettrici e le opzioni di trasporto pubblico verde. Questo può incoraggiare i residenti ad adottare abitudini ecologiche. Dunque, in sintesi, la sfida per le pubbliche amministrazioni non è solo avere dei modelli informatici urbani in 3D visivamente più accattivanti, ma è soprattutto consentire ai pianificatori e alle parti interessate di gestire diversi sistemi dei dati in una modalità integrata, per

poi visualizzare l'impatto sull'ambiente e sulla comunità dei progetti proposti. Una gestione attenta di questi sistemi fornisce agli amministratori pubblici la possibilità di integrare dati provenienti da fonti pubbliche e private, abilitando in questo modo una serie di partenariati pubblico - privati, anche a beneficio del privato e dei cittadini.

5. Conclusioni: verso una pianificazione urbanistica più strategica, computazionale e immersiva

L'implementazione dei gemelli digitali rappresenta una rivoluzione nel modo in cui le città vengono pianificate e gestite e pone nuove opportunità sul modo di pensare alla complessità urbana attraverso una gestione urbana, intesa come disciplina in grado di cogliere, descrivere, modellare, prevedere, simulare anche con modalità immersive gli scenari presenti e futuri in tempo reale (Barresi, 2023; Fistola et al., 2024; Boccardo et al., 2024, Peldo et al., 2024). I gemelli digitali, quali strumenti avanzati, combinati con l'intelligenza artificiale, consentono quindi un monitoraggio in tempo reale e una simulazione dettagliata dei processi urbani, facilitando decisioni più informate e tempestive. Snap4City emerge come un esempio di successo in questo campo, integrando dati da diverse fonti e utilizzandoli per ottimizzare la gestione delle città intelligenti. Uno dei principali vantaggi dei gemelli digitali è la capacità di simulare scenari complessi e prevedere

l'impatto di varie decisioni sulla città. Questo permette di migliorare la resilienza urbana, rendendo le città più preparate a gestire eventi imprevisti e a rispondere rapidamente alle emergenze. Inoltre, l'uso dell'intelligenza artificiale e del *machine learning* consente di identificare tendenze e ottimizzare i servizi urbani in modo più efficiente. A tutto ciò si aggiunge anche la possibilità di far comprendere meglio a tutte le parti interessate i contesti urbani e l'impatto di nuovi progetti prima ancora della loro costruzione, minimizzando i costi.

La piattaforma Snap4City si distingue per la sua capacità di aggregare dati da molteplici fonti, offrendo una visione olistica delle dinamiche urbane. Questo approccio integrato permette una gestione coordinata delle risorse e dei servizi, migliorando la qualità della vita dei cittadini e riducendo i costi di gestione. Ad esempio, la capacità di monitorare in tempo reale il traffico, il consumo energetico e l'inquinazione stradale, la gestione della raccolta rifiuti, e la qualità dell'aria consente di intervenire prontamente per migliorare l'efficienza e la sostenibilità della città.

Tuttavia, l'implementazione dei gemelli digitali presenta anche alcune sfide. La qualità e la quantità dei dati disponibili sono cruciali per la precisione dei modelli digitali. È necessario un impegno costante per aggiornare e mantenere i dati, nonché per garantire che le infrastrutture digitali siano scalabili e adattabili a diverse esigenze. Inoltre, l'adozione di questi

strumenti richiede una formazione adeguata per i pianificatori urbani e i decisori politici, al fine di sfruttare appieno le potenzialità. In conclusione, i gemelli digitali rappresentano un passo avanti significativo nella pianificazione urbana strategica e computazionale. La loro capacità di integrare dati, simulare scenari complessi e ottimizzare i processi decisionali offre enormi vantaggi per le città del futuro. La piattaforma Snap4City, con la sua esperienza più che decennale e il suo approccio integrato, dimostra come queste tecnologie possano essere applicate con successo per migliorare la gestione urbana e promuovere la sostenibilità. È essenziale continuare a investire in queste tecnologie e sviluppare competenze adeguate per affrontare le sfide future, assicurando che le città siano in grado di beneficiare appieno delle opportunità offerte dai gemelli digitali e dall'intelligenza artificiale.

Acknowledgements / Riconoscimenti

Il presente studio è stato supportato dall'accordo di collaborazione tecnico-scientifica "PON METRO 2014-2020 ASSE 6 - Azione CA6.1.1.b - Cagliari smart city: Integrazione della governance urbana con la mitigazione delle isole di calore urbane (CA_UHI)" siglato tra il Comune di Cagliari e dell'Università degli Studi di Cagliari (DICAAR - Dipartimento di Ingegneria Civile, Ambientale e Architettura). Questo studio è stato sostenuto anche dal MUR attraverso il progetto SMART3R-FLITS: SMART Transport for Travellers and Freight Logistics Integration Towards Sustainability" (Protocollo di progetto: 2022J38SR9; Codice CUP: F53D23005630006), finanziato con il PRIN 2022. Questo studio è stato sostenuto dal Centro Nazionale Mobilità Sostenibile CN00000023, Decreto Ministero dell'Università e della Ricerca n. 1033-17/06/2022, Rag. 9) Unione Europea-NextGenerationEU. Un ringraziamento speciale ai tanti utenti e sviluppatori che lavorano sulle piattaforme Snap4City (<https://www.snap4city.org>) e Km4City sono tecnologie aperte di DISIT Lab (<https://www.disit.org>), UNIFI. Autorizziamo il MIUR a riprodurre e distribuire ristampe per scopi governativi, fatte salve le eventuali indicazioni di copyright ivi contenute. Eventuali opinioni, risultati e conclusioni o raccomandazioni espresse in questo materiale sono quelle degli autori e non riflettono necessariamente le opinioni del MIUR.

Contributo degli autori

Questo articolo è il risultato del lavoro congiunto degli autori. Paolo Nesi ha scritto il par. 3 "Lettura di un'esperienza decennale: punti di forza e sfide aperte"; Chiara Garau ha scritto il par. 2 "Un modello di architettura per la gestione di città intelligenti: Snap4City" e Paola Zamperlin ha scritto il par. 1 "Introduzione. Dall'idea di Città intelligente al Gemello digitale". Il par. 4 "Vantaggi e potenzialità per i diversi stakeholder (governo, settore privato, cittadini) attraverso la piattaforma Digital Twin Snap4City" (con i sottoparagrafi) e il par. 5 "Conclusioni: verso una pianificazione urbanistica più strategica, computazionale e immersiva" è stato scritto congiuntamente dagli autori.

Note

¹ <https://www.km4city.org>, <https://www.snap4city.org/19>

² Pappalardo et al., 2023.

³ Wefering et al., 2019; https://transport.ec.europa.eu/system/files/2020-09/sumi_wp1_harmonisation_guidelines.pdf

⁴ Snap4City & Snap4Industry Registered Instances Installations: <https://www.snap4city.org/661>

⁵ Per un aggiornamento sullo stato degli scenari applicativi e casi noti si rimanda alla pagina: <https://www.snap4city.org/4>

⁶ Per un più esaustiva valutazione comparativa si rimanda a (Bellini et al., 2025; Adreani et al., 2024).

⁷ IoT Applications e Micro services: Snap4City supporta MQTT, AMQP, OneM2M, SigFOX, LoRaWAN, broker NGSI Orion, REST/FTP, scraping e file upload locale o remote; Data Table Loader: per importare excel o CSV trasformandoli in modelli IoT e KPI; ETL e Scraping visuale: per estrarre dati da Open Data portal, servizi REST. (per la lista dei protocolli e formati supportati in <https://www.snap4city.org/65>)

⁸ L'uso esplicito di ontologie segue principi di ontology based data integration, garantendo un modello globale coerente, si veda ad esempio: Km4City Urban Graph Representation, <https://www.snap4city.org/397>. Km4City Knowledge Base si caratterizza per essere un'ontologia multisettoriale (trasporti, ambiente, edilizia, etc.) in grado di modellare eterogeneità sintattiche/strutturali e disambiguare la semantica.

⁹ L'aggregazione flessibile dei dati avviene sulla base del modello ontologico locato in RDF store NoSQL come Virtuoso, e OpenSearch per i dati temporali e tabellari e documentali, supportano sia per flussi real-time (tramite broker e protocolli WS) sia batch, con indicizzazione semantica e geografica; Knowledge graphs e KPIs trasformano i dati integrati in entità/relazioni interrogabili via API o query semantiche.

¹⁰ Si veda pagina Snap4City Digital Twin: <https://digitaltwin.snap4city.org/>

¹¹ <https://www.snap4city.org/drupal/node/1008>

Bibliografia

Adreani L., Bellini P., Fanfani M., Nesi P., Pantaleo G. 2024, Smart City Digital Twin Framework for Real-Time Multi-Data Integration and Wide Public Distribution, «IEEE Access», pp. 1-27, ISSN: 2169-3536, DOI: 10.1109/ACCESS.2024.3406795

Barresi, A. 2023, Urban Digital Twin and urban planning for sustainable cities. *TECHNE-Journal of Technology for Architecture and Environment*, (25), 78-83.

Batty M. 2018, Digital twins, «Environment and Planning B: Urban Analytics and City Science» Vol. 45, pp. 817-993, <https://doi.org/10.1177/2399808318796416>

Batty M. 2024b, The Computable City, Histories, Technologies, Stories, Predictions, MIT Press.

Batty M. 2024a, Digital twins in city planning, «Nature Computational Science», Vol. 4, pp. 192-199. <https://doi.org/10.1038/s43588-024-00606-7>

Bellini P., Bologna D., Nesi P., Pantaleo G. 2024a, A Unified Knowledge Model for Managing Smart City / IoT Platform Entities for Multitenant Scenarios, «Smart Cities», 7(5), 2339-2365. <https://doi.org/10.3390/smartcities7050092>

Bellini P., Fanfani M., Nesi P., Pantaleo G. 2024b, Snap4City Dashboard Manager: a tool for creating and distributing complex and interactive dashboards with no or low coding, «SoftwareX», Elsevier, <https://doi.org/10.1016/j.softx.2024.101729>

Bellini P., Collini E., Fanfani M., Ipsaro Palesi L.A., Pantaleo G., Nesi P., and Zamperlin P. 2025, Snap4City Digital Twin meeting European CityVerse Action, In E. Borgogno-Mondino, P. Zamperlin (Eds), *Geomatics for Green and Digital Transition. 27th Italian Conference, ASITA 2024, Padua, Italy, December 9-13, 2024, Proceedings, Part I and II*

Bibri S. E., Krogstie J., Kaboli A., & Alahi A. 2024, Smarter eco-cities and their leading-edge artificial intelligence of things solutions for environmental sustainability: A comprehensive systematic review, «Envi-

ronmental Science and Ecotechnology», 19, 100330.

Bilotta S., Ipsaro Palesi L. A., Nesi, P. 2023, Predicting free parking slots via deep learning in short-mid terms explaining temporal impact of features. *IEEE Access*, 11, 101678-101693.

Bilotta S., Ipsaro Palesi L. A., Nesi P. 2025, Exploiting open data for CO2 estimation via artificial intelligence and eXplainable AI. *Expert Systems With Applications*, 291, 0-0.

Bettencourt L. 2021, Introduction to Urban Science, MIT Press.

Boccardo P., La Riccia L., Yadav Y. 2024, Urban echoes: exploring the dynamic realities of cities through digital twins. *Land*, 13(5), 635.

Chen C. W. 2023, Can smart cities bring happiness to promote sustainable development? Contexts and clues of subjective well-being and urban liveability, «Developments in the Built Environment», Vol. 13, p. 100108.

Collini E., Ipsaro Palesi L. A., Nesi P., Pantaleo G., Zhao W. 2024, Flexible thermal camera solution for Smart city people detection and counting, «Multimedia Tools and Applications» 83 (7), pp. 20457-20485.

Collini E., Ipsaro Palesi L. A., Nesi P., Pantaleo G., Nocentini N., Rosi A. 2022, Predicting and understanding landslide events with explainable AI, «IEEE Access 10», pp. 31175-31189

De Benedictis R., Cesta A., Pellegrini R. et al. 2025, Digital twins for intelligent cities: the case study of Matera, «J Reliable Intell Environ» 11, 6. <https://doi.org/10.1007/s40860-025-00245-3>

Fereidooni Z., Ipsaro Palesi L. A., Nesi P. 2025, Multi Agent Optimizing Traffic Light Signals Using Deep Re-

inforcement Learning, «IEEE Access».

Ferré-Bigorra J., Casals M., Gangoilels M. 2022, The adoption of urban digital twins, «Cities», 131, 103905.

Fistola R., Zingariello I. 2024, Beyond the Smart City. The Urban Digital Twin for the Augmented City: The Vox Hortus Project. In: Marucci, A., Zullo, F., Fiorini, L., Saganeiti, L. (eds) Innovation in Urban and Regional Planning. INPUT 2023. Lecture Notes in Civil Engineering, vol 467. Springer, Cham.

Garau C., Annunziata A., Desogus G., Rossetti S. 2023, Spatial Smartness and (In) Justice in Urban Contexts? The Case Studies of Cagliari and Parma, Italy. In the International Conference on Innovation in Urban and Regional Planning (pp. 484-495). Cham: Springer Nature Switzerland.

Garau C., Nesi P., Paoli I., Paolucci M., Zamperlin P. 2020, A big data platform for smart and sustainable cities: environmental monitoring case studies in Europe. In the International Conference on Computational Science and Its Applications (pp. 393-406). Cham: Springer International Publishing.

Grieves M. 2014, Digital Twin: manufacturing excellence through virtual factory replication: A whitepaper.

Grieves M., Vickers J. 2017, Digital Twin: Mitigating Unpredictable, Undesirable Emergent Behavior in Complex Systems, in Kahlen J., Flumerfelt S., Alves A. (eds.) Transdisciplinary Perspectives on Complex Systems, Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-38756-7_4

Lei B., Stouffs R., Biljecki F. 2023, Assessing and benchmarking 3D city models, «International Journal of Geographical Information Science» 37, 788-809.

Manfreda A., Mijač T. 2024, Smart City as a Mix of Technology, Sustainability and Well-Being: A Myth or Reality? in Sharma S.K., Dwivedi Y.K., Metri B., Lal B., Elbanna A. (eds.) *Transfer, Diffusion and Adoption of Next-Generation Digital Technologies*. TDIT 2023. IFIP Advances in Information and Communication Technology, vol 699. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-50204-0_5

Pappalardo L., Manley E., Sekara V. Alessandretti L. 2023, Future directions in human mobility science, «Nature Computational Science» 3, pp. 588-600.

Peldo D., Banihashemi S., LeNguyen K., Derrible S. 2024. Navigating Urban Complexity: The Transformative Role of Digital Twins in Smart City Development, «Sustainable Cities and Society», 105583.

Pinna C., Torlini A., Poplin A., Garau C. 2025, Smart and Happy Cities: Towards a Definition and a Methodology for Evaluating the Emotional Perception of Happiness. In *International Conference on Computational Science and Its Applications* (pp. 141-159). Cham: Springer Nature Switzerland.

Zhao F., Fashola O. I., Olarewaju, T. I., Onwumere I. 2021, Smart city research: A holistic and state-of-the-art literature review, «Cities», 119, 103406.

Wefering F., et al. 2019, Guidelines. Developing and implementing a sustainable urban mobility plan. Rupprecht Consult (editor), Second Edition.

L'intelligenza artificiale per la città a 15 minuti: una proposta per innovare la pianificazione dei servizi a Milano

Artificial Intelligence
for the 15-Minute City:
A Proposal to Innovate
Service Planning in Milan

Francesco Berni

Università per stranieri di Perugia
bdesign.24@gmail.com
orcid.org/0000-0002-1360-3164

Andrea Bartolini

Singapore ETH Centre
bdesign.24@gmail.com
orcid.org/0000-0001-8011-5454

Received: August 2025 / Accepted: December 2025 | © 2025 Author(s).
This article is published with Creative Commons license CC BY-SA 4.0 Firenze
University Press.
DOI: 10.36253/contest-16693

keywords

Urban Regeneration
Tools And Techniques
Spatial Planning
Semantic Interoperability
(vedi JA)

The '15-minute city' represents a reinterpretation of a consolidated disciplinary paradigm, rediscovered during the pandemic as a response to the need for proximity in urban systems. In Europe, many experiments have focused on sustainable mobility and public spaces, while the integration of services has proven more complex, hindered by the lack of empirical tools and interoperable data. The future challenge lies in moving beyond traditional urban planning standards by adopting data-driven approaches to ensure accessible services and maximize social impact.

1. Obiettivi, metodologia e risultati attesi

La città dei quindici minuti rappresenta oggi un importante campo di sperimentazione come paradigma progettuale per la rigenerazione dei sistemi urbani (Moreno, 2024), all'interno del quale è possibile misurare le potenzialità innovative introdotte dall'intelligenza artificiale. Si tratta di una modalità di ripensamento dei tessuti urbani che affonda le sue radici nella storia della pianificazione moderna, con particolare riferimento al concetto di *'neighborhood unit'* di Clarence Perry (Perry, 1929) e a una vasta gamma di ap-

plicazioni: dalle città giardino di Howard, ai quartieri londinesi di Abercrombie, fino agli isolati razionalisti della Brasilia progettata da Lucio Costa e Oscar Niemeyer (Benevolo, 1999). Spesso ricondotta alle unità di vicinato delle città storiche europee, questa solida impostazione morfologica ha tuttavia incontrato maggiori difficoltà nella definizione funzionale degli spazi, basata su modelli predittivi di tipo razional-comprendivo fondati su standard urbanistici teorici e bacini di utenza astratti (Hall, 1996).

This contribution explores the potential of artificial intelligence as a lever to innovate service planning, starting from the case of Milan. The city provides a relevant field of investigation, where the local authority is experimenting with new service planning tools in a context marked by heated public debate and inquiries centered on the relationship between private transformations and collective interests.

Negli ultimi decenni, l'integrazione crescente di dati e l'evoluzione di strumenti come l'intelligenza artificiale hanno favorito lo sviluppo di innovazioni sperimentali sia sul piano teorico che nelle applicazioni pratiche della disciplina urbanistica (Batty, 2013), in particolare per quanto riguarda la pianificazione dei servizi¹. Questo processo può partire, innanzitutto, dall'innovazione degli strumenti e dei processi propri del settore pubblico. Come superare l'approccio previsionale tradizionale, astratto e fondato su standard e bacini teorici di utenza, in favore di soluzioni elaborate a partire dai dati effettivamente disponibili presso gli enti locali?

L'obiettivo del presente contributo è rispondere a tale quesito, esplorando il potenziale dell'intelligenza artificiale come leva di innovazione nei processi di pianificazione urbanistica, attraverso la capacità delle macchine di apprendere dai dati per supportare la costruzione

di un quadro coerente dell'offerta e della domanda di servizi in un determinato quartiere oggetto di trasformazione.

Il caso studio analizzato è la città di Milano, interessata da rilevanti interventi di rigenerazione urbana che coinvolgono ex scali ferroviari e aree dismesse. La scelta di questo contesto territoriale si lega a diversi fattori: la presenza di numerosi progetti di trasformazione urbana che rappresentano un laboratorio fertile per testare nuove soluzioni tecnologiche, l'attivazione di un progetto pilota dedicato alla revisione della pianificazione dei servizi attraverso processi *'data driven'*, e la disponibilità di competenze specifiche che consentono all'amministrazione comunale di innovare le proprie pratiche al di là delle attività ordinarie. Per fare questo, il Comune di Milano ha attivato un tavolo di lavoro interno nel 2022, con la finalità di definire dei fabbisogni in termini di servizi e funzioni di interesse pubblico in aree della città oggetto di trasformazione (Berni et al., 2025). Nello specifico, l'ambito di applicazione del lavoro è relativo ai processi negoziali legati agli iter autorizzativi per l'approvazione dei piani attuativi di iniziativa privata ma con possibile estensione anche ad interventi diretti di trasformazione urbana. I proponenti del presente contributo² si posizionano rispetto all'oggetto di ricerca da una prospettiva tangente al processo analitico in un'ottica di ricerca-azione con il risultato atteso di produrre una proposta metodologica indipendente volta a migliorare i

risultati sin qui raggiunti, valutandone, altresì, vantaggi e limitazioni.

2. La sfida: Ripensare i servizi nella 'Milano a 15 minuti'

La città di Milano ha previsto tra i suoi obiettivi principali, la riconfigurazione del tessuto urbano secondo il paradigma della città a 15 minuti aprendo delle sperimentazioni che hanno riguardato anche la pianificazione delle funzioni e servizi urbani nei quartieri (Berni et al., 2025). Questa visione si contestualizza all'interno di una città che rappresenta oggi una delle principali porte di accesso per capitali, competenze e investimenti esteri in Italia, esercitando un forte magnetismo anche nei confronti di altri contesti urbani del paese (Bonomi, 2008). Altri territori interni e città industriali come Genova hanno pagato il prezzo più alto della ristrutturazione economica globale (Gainsforth, 2025). Tuttavia, la posizione di centralità pone una sfida complessa: governare le dinamiche di trasformazione in modo da ridistribuire le opportunità generate e, al contempo, mitigare le esternalità negative sulle fasce più vulnerabili della popolazione, attraverso una governance integrata e sensibile ai contesti locali (Balducci et al., 2017). Negli ultimi anni, tuttavia, Milano – al pari di altre città globali (Sassen, 1991) – ha visto crescere le disuguaglianze sociali, l'espulsione di residenti a causa di fenomeni di 'super gentrificazione' (Lees, 2010; Minton, 2017) e una marcata crisi abitativa. Si tratta di

fattori che hanno compromesso il benessere collettivo e la qualità della vita urbana (Barbaretto, 2025; Tozzi, 2023) come emerso anche nel recente dibattito pubblico che ha interessato l'edilizia milanese e gli scandali giudiziari che hanno coinvolto direttamente i vertici dell'amministrazione comunale.

2.1 Gli interventi di trasformazione e le pratiche negoziali

L'elevata attrattività immobiliare della città ha determinato una proliferazione di interventi di trasformazione urbana, nonché l'acquisto e la ristrutturazione di un ingente patrimonio abitativo privato. In sintesi, è possibile ricondurre i principali processi di trasformazione urbana degli ultimi anni a quattro tipologie:

- a. Interventi sperimentali privati su aree pubbliche, promossi attraverso programmi internazionali di rigenerazione urbana come *Reinventing Cities*, coordinato dalla rete C40 guidata da *Bloomberg Associates*, di cui Milano fa parte insieme ad altre metropoli globali con alcuni interventi significativi che tuttavia stentano ancora a decollare come il progetto Aria presso gli ex-macelli di Molise Calvairate a cura di Redo sgr e il rifacimento di piazzale Loreto coordinato da *Nhood Italia*.
- b. Interventi pubblici promossi dal Comune di Milano, sostenuti da risorse significative del Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza (PNRR), Fondo Complementare e da altre risorse europee, nazionali e regionali, an-

che in vista delle Olimpiadi Invernali Milano-Cortina 2026 come il progetto Move San Siro per il recupero degli spazi del quartiere San Siro con il 'Programma innovativo della qualità dell'abitare' (PINQUA), la Biblioteca Europea di Informazione e Cultura (BEIC) e gli interventi nel quartiere Santa Giulia.

- c. Progetti di rigenerazione urbana promossi da operatori privati, in particolare nelle aree dismesse ancora presenti nel tessuto urbano milanese compresi gli ex scali ferroviari cittadini di cui fanno parte i grandi progetti di trasformazione di scalo Farini e Porta Romana oggetto di concorsi internazionali ispirati al prototipo realizzato di Porta Nuova diventato manifesto iconico della Milano globale con i grattacieli di piazza Gae Aulenti, il Bosco Verticale e la biblioteca degli alberi ma anche oggetto di forti critiche per la privatizzazione dello spazio urbano e il contributo legato all'innesto di processo di gentrificazione urbana negli ex quartieri popolari limitrofi come Isola (Diappi, 2009).
- d. Interventi di densificazione urbana a guida privata, spesso realizzati tramite interventi di demolizione e ricostruzione. In molti casi queste operazioni sono avvenute in assenza di una pianificazione attuativa con una potenziale violazione della legge urbanistica fondamentale sollevando aspre critiche in merito alla capacità delle istituzioni di governare efficacemente gli impatti urbanistici e sociali generati (Tozzi, 2023) con suc-

cessive polemiche estese anche a livello nazionale attorno al cosiddetto decreto '*salva Milano*' (Granata, 2025), emblematico delle tensioni tra interessi pubblici e dinamiche speculative. Il caso forse più emblematico è quello della realizzazione di Torre Milano, un grattacielo con destinazione residenziale di circa 24 piani in via Stresa.

In un contesto come quello milanese, caratterizzato da una forte frequenza di trasformazioni urbane, si pone con urgenza la questione di come garantire standard adeguati di servizi e qualità urbana attraverso un dialogo strutturato con gli attori privati.

In sintesi, cosa può essere richiesto al privato nel processo negoziale nell'ambito del percorso di pianificazione attuativa affinché il suo intervento sia realmente utile al quartiere e alla città?

La questione è molto complessa considerando come il fabbisogno di nuovi servizi può rispondere ad esigenze contingenti o previsionali con un alto grado di rischio in virtù di variabili di contesto sempre più incerte ed imprevedibili.

A questo si aggiunge l'obsolescenza del modello 'classico' di pianificazione dei servizi fondato sul calcolo dello standard urbanistico in funzione di bacini di utenza 'astratti' cioè fondati su stime grossolane che risultano inadeguate in base agli stili di vita attuali connotati da un'alta mobilità e flessibilità sociale.

Il Comune di Milano ha tentato negli ultimi anni di superare il modello 'tradizionale' nella pianificazione dei servizi attraverso l'istitu-

zione di un gruppo interno con competenze multidisciplinari e la definizione di un processo metodologico di lavoro (Berni et al., 2025).

L'obiettivo è quello di massimizzare le potenzialità generate dalla grande mole di dati disponibili con informazioni dettagliate sulla composizione sociale di un certo contesto ancorate ai singoli civici degli edifici. Tutto questo permette la produzione di analisi e proiezione mirate per prevedere servizi di interesse generale *'tailor made'* aderenti alle esigenze del territorio attraverso un approccio *'data driven'* fondato su dati georeferenziati.

2.2 La sperimentazione *'Scalo Farini'* e limiti riscontrati

Una prima sperimentazione è stata sviluppata internamente al Comune su alcune aree di trasformazione con particolare riferimento allo scalo Farini³ interessato da un progetto di rigenerazione urbana promosso da operatori privati (c) attraverso due piani attuativi di iniziativa privata adiacenti.

Il primo passaggio metodologico è la costruzione della *service area* calcolata attraverso l'applicazione di algoritmi di *networking* che restituiscono, a partire dal baricentro dell'area di trasformazione, i percorsi a piedi della durata di 15 minuti. Di fatto viene definito un perimetro di riferimento su cui avviare le indagini che spesso travalicano le divisioni amministrative dei nuclei identitari locali⁴ e municipi.

Il sistema elabora un grafo stradale ed i cor-

rispondenti estremi identificando un poligono all'interno del quale vengono individuati tutti i servizi pubblici e privati oltre civici a cui corrisponde la popolazione residente in anagrafe o possibili utenti di servizi⁵.

L'analisi è finalizzata all'identificazione del *service need* le esigenze di servizi investigando la domanda e l'offerta di servizi nell'area di studio. L'indagine viene completata considerando anche le operazioni di trasformazione limitrofe in modo da avere un quadro chiaro su cui sviluppare i possibili scenari futuri anche in relazione ai possibili nuovi abitanti insediabili che vengono confrontati con l'offerta presente.

Nel caso dello Scalo Farini, ad esempio, i nuovi interventi previsti dall'attuazione di due piani attuativi contermini prevedono circa 8.176 di abitanti equivalenti⁶ con 402.460 mq di superficie utile lorda di cui 272.536 mq a destinazione residenziale. Analizzando l'ambito scolastico ad esempio, la domanda attualmente richiesta nella *service area* risulta coperta per un totale di 4033 iscritti a fronte di 4901 posti disponibili sui diversi ordini di scuola. È presente tuttavia una domanda potenziale derivante dal consistente numero di bambini in età scolare attualmente residenti a cui si deve aggiungere il fabbisogno indotto dalle trasformazioni urbanistiche che prevedono l'insediamento di nuovi residenti che equivalgono potenzialmente a 1.676 bambini in fascia di età compresa tra 0 e 13 anni, di cui 1.289 nella fascia 3-13 e 387 nella fascia 0-3. L'attuale capienza residua del-

le strutture scolastiche della fascia di età 3-13 anni consentirebbe di accogliere ulteriori 868 alunni. Tuttavia gli spazi sono nella maggior parte dei casi attualmente utilizzati per il potenziamento dell'offerta didattica (es. laboratori, biblioteche, aule di sostegno etc.) mentre per quanto riguarda i servizi all'infanzia comunali della fascia 0-3 anni si rileva una importante pressione sulle liste d'attesa. In sostanza, all'emergere di alcune fasce di popolazione come prevalenti non corrispondono adeguate risposte in termini di servizi esistenti.

I risultati emersi sono la base per la *service proposal* con la prefigurazione di indirizzi progettuali sottoposti alla giunta comunale che delibera così il fabbisogno di un'area identificando delle priorità su cui sviluppare la negoziazione con i privati. Nel caso Farini, ad esempio, la priorità principale indicata è la realizzazione di un *Civic Centre* come luogo di aggregazione per le comunità locali con l'inserimento di servizi scolastici. In sintesi, analizzando l'esperienza metodologica di scalo Farini si riscontrano alcuni limiti operativi⁷ che possiamo riassumere nei seguenti punti principali:

- a. Interoperabilità vincolata dalla presenza di informazioni e dati che rimangano separati nei fatti registrando una certa difficoltà nell'essere integrati all'interno di dataset e altri strumenti avanzati che possono fornire un valido supporto alle pratiche di pianificazione urbanistica come nel caso dei *digital twin* e altre piattaforme di monitoraggio.
- b. Governance e partecipazione limitata rappresentano un aspetto critico del processo di lavoro che può essere integrato con informazioni non esclusivamente fondate sui dati quantitativi di natura numerica. L'ingaggio della cittadinanza, in un contesto segnato da crescenti difficoltà anche in relazione alle polemiche che ruotano recentemente intorno all'edilizia milanese, potrebbe risultare un valido completamento del quadro analitico sviluppato nella service area.
- c. Estensione e scalabilità condizionata dalla dichiarata intenzione del modello di concentrarsi rispetto alla dimensione di quartiere considerato come baricentro analitico e previsionale dell'intero impianto. Tutto questo permette infatti di intervenire solo su un pezzo del processo negoziale con il privato non considerando funzioni urbane di rango superiore. Al tempo stesso, l'estensione del modello anche ad interventi di minor portata⁸ rispetto alle grandi operazioni di trasformazione risulta insostenibile in termini di carico di lavoro necessario.
- d. Aggiornamento e automazione parziale del modello rende alquanto complesso il suo utilizzo intensivo. Questo aspetto è legato alla richiamata consistenza del carico di lavoro necessario per la raccolta e analisi del dato che implica uno sforzo da concentrare solo in casi eccezionali con limitate possibilità di automazione di alcune parti del processo.

In base ai limiti emersi, l'intelligenza artificiale può intervenire per migliorare l'attività di pianificazione per quanto concerne i servizi? Se sì, con quali vantaggi e limitazioni?

3. L'intelligenza artificiale e la pianificazione dei servizi

Per rispondere alla domanda precedente, è utile ricordare come la pianificazione di servizi, faccia leva su un ampio ventaglio di strumenti digitali, in grado di assistere esperti e non, in vari compiti e attraverso diverse fasi della valutazione di una data scelta progettuale, o nella gestione di sistemi già esistenti.

La crescente disponibilità di dati urbani e di strumenti *hardware* e *software* sta sostenendo l'urbanistica nel migliorare comunicazione, collaborazione e capacità di gestione di grandi quantità di informazioni, anche in tempo reale (Stratigea et al., 2015). Alla base vi è la modellazione, ossia la costruzione di rappresentazioni semplificate della città per simulare, analizzare e comunicare fenomeni complessi. I primi modelli dinamici, sviluppati da Batty (1971, 2020), hanno mostrato come simulazioni matematiche possano descrivere le interazioni tra economia, spazio e società. Parallelamente, i *Geographic Information Systems (GIS)* hanno reso possibile la rappresentazione digitale 2D e 3D delle informazioni geografiche (Tomlinson, 1969), con applicazioni che spaziano dalle analisi spaziali a processi partecipativi (Hu et al., 2015). La modellazione della forma urbana

si è evoluta verso geometrie tridimensionali basate su regole morfologiche, oggi potenziate da tecniche di *machine learning* (Chaillou, 2019). Strumenti più integrati, come i *planning* e *decision support systems*, combinano funzioni analitiche e simulazioni in dashboard interattive per visualizzare dati geo-spaziali e temporali a supporto dei processi deliberativi (Stead, 2021). I *digital twins* ampliano tali capacità con gemelli virtuali dinamici connessi a banche dati urbane, abilitando analisi predittive e monitoraggi continui (Schrotter, Hürzeler, 2020). Infine, il *City Information Modeling (CIM)* integra dati geometrici con componenti socio-economiche, climatiche e infrastrutturali, pur restando vincolato da limiti di interoperabilità e calcolo (Stojanovski, 2018). Nel complesso, questi strumenti costituiscono un ecosistema interconnesso: GIS e modelli urbani alimentano CIM e *digital twins*, i modelli di sistema sostengono i supporti decisionali, e la modellazione della forma contribuisce a visualizzazione e progettazione esplorativa. La digitalizzazione della pianificazione urbana appare così come un processo unitario di modellazione multilivello, in cui diverse astrazioni della città si sovrappongono per mettere in evidenza le specificità dei contesti urbani in modo da rendere le politiche, le strategie e le azioni maggiormente aderenti ai luoghi.

Nonostante i menzionati sviluppi quanto a disponibilità di dati e strumenti, ci sono ancora difficoltà a sfruttare appieno tutto il potenzia-

le che ne viene offerto. Una delle cause di tali difficoltà è da trovarsi nella frammentazione di tali informazioni, in datasets e modelli, ed in know-how specifico distribuito tra vari attori. Il recente avvento di nuovi e più avanzati approcci e strumenti basati su Intelligenza Artificiale (IA), e la crescente disponibilità di capacità di calcolo, possono però essere un valido aiuto nel colmare il divario tra potenziali benefici ed attuale pratica urbanistica.

3.1 *Quale intelligenza per la pianificazione?*

Il termine intelligenza artificiale (IA) oggi è ampiamente diffuso con una pluralità di approcci e tecniche anche se spesso viene confuso nell'uso quotidiano, con applicazioni specifiche come i modelli linguistici di grandi dimensioni. Per maggiore chiarezza, diverse tassonomie hanno proposto una suddivisione dei metodi e strumenti dell'IA in domini accomunati da obiettivi simili (Sarker, Iqbal, 2022; European Commission, 2020). In particolare, la Commissione Europea individua cinque macro-domini principali:

- a. **Apprendimento (Learning):** riguarda la capacità dei sistemi di migliorare le proprie prestazioni a partire dai dati. Include i metodi classici di machine learning (ad es. regressione lineare e logistica, clustering, alberi decisionali, support vector machines) e le tecniche più avanzate di deep learning (reti neurali profonde, convolutional neural networks per immagini, recurrent neural networks per serie temporali). Qui si collocano anche i Large Language Models (LLM), come GPT, che apprendono da enormi corpora testuali per generare o riassumere testi.
- b. **Pianificazione (Planning):** concerne la progettazione e l'ottimizzazione di sequenze di azioni per raggiungere un obiettivo. Esempi includono algoritmi di ricerca e ottimizzazione (constraint satisfaction, genetic algorithms, reinforcement learning applicato a decisioni sequenziali), fino ad arrivare a sistemi complessi come robot autonomi, droni e veicoli a guida autonoma.
- c. **Comunicazione (Communication):** si riferisce alla capacità delle macchine di comprendere e generare linguaggio naturale. Le tecniche di natural language processing (NLP) spaziano dall'analisi del sentiment alla traduzione automatica, dai chatbot ai modelli conversazionali (tra cui gli stessi LLM).
- d. **Percezione (Perception):** riguarda i metodi che permettono ai sistemi di interpretare il mondo attraverso i sensi artificiali. Rientrano qui la computer vision (riconoscimento facciale, rilevamento di oggetti, ricostruzioni 3D), l'analisi video e l'audio processing (riconoscimento vocale, sintesi vocale, analisi di suoni ambientali o musica).
- e. **Ragionamento (Reasoning):** si focalizza sulla trasformazione dei dati in conoscenza e sull'inferenza di nuove informazioni. Le tecniche comprendono la rappresentazione della conoscenza (ontologie, grafi semanti-

ci), i sistemi basati su regole, il case-based reasoning e la logica descrittiva. Questo ambito è particolarmente rilevante per il nostro lavoro, poiché costituisce la base delle Semantic Web Technologies (SWT) (Hitzler et al., 2009), che permettono di strutturare e collegare dati in modo esplicito, interoperabile e interpretabile dalle macchine.

Dopo aver delineato i principali domini dell'IA, è proprio nell'ambito del ragionamento che si collocano le Semantic Web Technologies (SWT), le quali offrono strumenti particolarmente adatti a trattare la complessità informativa dei contesti urbani. Le SWT si fondano sull'idea di rendere i dati non solo accessibili e collegati tra loro, ma anche arricchiti di significato, in modo da poter essere rielaborati ed interpretati da calcolatori. Attraverso ontologie condivise e strutture a grafo basate su triple Resource Description Framework (RDF), è possibile rappresentare formalmente concetti e relazioni, garantendo interoperabilità tra domini diversi e capacità di inferenza automatica. In questo modo, i dati statici e frammentati possono essere trasformati in sistemi dinamici di conoscenza interrogabili e aggiornabili, capaci di supportare applicazioni complesse e interdisciplinari.

3.2 Rappresentazioni semantiche ed interoperabilità dei dati per la pratica urbanistica

La pratica urbanistica, caratterizzata da una forte componente interdisciplinare e quindi

diffusa, può beneficiare secondo von Richthofen et al (2022) delle capacità di gestione e ragionamento automatici resi possibili dalle SWT. Seguendo tale studio, si riporta una classificazione con quattro meta-pratiche rilevanti per la pianificazione urbana in termini di rappresentazione, valutazione, proiezione e sintesi, evidenziando esempi di applicazione delle SWT in ognuna di esse.

Più in generale, queste tecnologie possono supportare un ampio ventaglio di applicazioni legate al controllo e alla pianificazione di sistemi fisici nel mondo reale, grazie alla rappresentazione esplicita delle connessioni logiche tra domini informativi (Lim et al., 2022).

Un caso emblematico di applicazione di questo approccio è il progetto Cities Knowledge Graph, sviluppato a Singapore (CKG, 2023) come risultato di una collaborazione fra centri di ricerca locali. Il progetto si è concentrato sull'interoperabilità dei dati urbani tramite Semantic Web Technologies (SWT), per capire come semplificare le attività di pianificazione urbana in modo innovativo e integrato. L'obiettivo era rendere dati molto diversi tra loro – demografici, spaziali, infrastrutturali o ambientali – interrogabili e aggiornabili in un'unica piattaforma digitale, superando la frammentazione tra strumenti tradizionali e il ricorso massivo a verifiche manuali. Va sottolineato come l'impatto e la struttura del progetto siano stati profondamente radicati nelle peculiarità di Singapore, una città-stato le cui sfide urbanistiche

sono strettamente collegate alle condizioni imposte da una alta densità urbana legata a stretti vincoli di superficie disponibile, e impatti del cambiamento climatico già osservabili. L'iniziativa ha avuto l'obiettivo di superare la frammentazione dei tradizionali strumenti di pianificazione, trasformando dati statici e disgiunti in sistemi dinamici di conoscenza, interrogabili e aggiornabili, capaci di supportare scenari di pianificazione più accurati, integrati e reattivi. All'interno del progetto di ricerca *Cities Knowledge Graph (CKG)*, diversi lavori hanno contribuito a costruire un sistema semantico per la rappresentazione della conoscenza urbanistica di Singapore. Da un lato, sono stati sviluppati modelli ontologici per formalizzare la normativa urbanistica e tradurla in procedure computabili: *OntoZoning* per rappresentare i vincoli di zonizzazione (Silvennoinen et al., 2023), un modello semantico-spaziale per automatizzare il calcolo della *Gross Floor Area* (Grišiūtė et al., 2023), e infine un framework 3D che integra regole urbanistiche e parametri edilizi in ontologie estese come *OntoPlanningRegulations* e *OntoBuildableSpace*, capaci di generare un vero e proprio "3D Master Plan" della città (Grišiūtė et al., 2025).

Parallelamente, altri contributi si sono concentrati sull'infrastruttura tecnologica necessaria a rendere questi dati interrogabili e utilizzabili in applicazioni pratiche. Attraverso la trasformazione del formato *CityGML* in un *knowledge graph* semantico (*OntoCityGML*), la definizio-

ne di agenti intelligenti per l'importazione, gestione ed esportazione dei dati, e lo sviluppo di interfacce basate su architettura multi-agente, è stato possibile creare un ambiente dinamico, interoperabile e facilmente utilizzabile (Chadzynski et al., 2021; 2022; 2023).

Il risultato finale del progetto è stato una suite di strumenti software con interfaccia grafica collegata a un database semantico che integra il *knowledge graph* urbano di Singapore. Tale piattaforma è stata concepita per consentire a urbanisti e *system planners* di svolgere analisi complesse in modo più efficiente, riproducibile e robusto, semplificando attività tradizionalmente laboriose come la verifica della conformità dei lotti o la valutazione del potenziale edificatorio.

In questo contesto, è importante distinguere chiaramente tra *knowledge models* e applicazioni che li utilizzano. Tutti gli esempi riportati in questa sezione – dalla rappresentazione delle norme urbanistiche con modelli ontologici, alla generazione di dataset tridimensionali, fino agli strumenti di interrogazione e visualizzazione come il *Programmatic Plot Finder* – condividono un elemento comune: alla base delle rispettive funzionalità vi è sempre un *knowledge model* formalizzato. Esso costituisce l'output primario dei processi di modellazione organizzando, connettendo e rendendo interrogabili domini informativi eterogenei, abilitando una pluralità di applicazioni possibili, che possono poi tradursi in indicatori, analisi

spaziali, verifiche di conformità o strumenti decisionali.

Pertanto, tale contributo si colloca deliberatamente a monte di tali applicazioni né proponendo un singolo strumento operativo, né anticipando quali analisi specifiche debbano essere sviluppate su di esso. Al contrario, l'approfondimento riguarda il passaggio fondativo della costruzione di un knowledge model urbano dedicato alla città dei 15 minuti come artefatto stabile, estendibile e aggiornabile nel tempo, che possa fungere da infrastruttura semantica condivisa su cui innestare, ora e in futuro, diverse applicazioni volte a scopi specifici.

4. Ontologie e database semantici a supporto della pianificazione dei servizi a Milano

A partire dall'esperienza sviluppata a Singapore con il progetto *Cities Knowledge Graph*, qui proponiamo un adattamento di tali metodologie al contesto di Milano, in particolare riguardo alla pianificazione dei servizi in ottica di città a 15 minuti.

L'adozione di approcci semantici e basati su AI richiede un investimento iniziale non trascurabile insito nel processo di rendere interoperabili basi di dati frammentarie. Questo 'costo' si giustifica quando i benefici ottenibili siano tangibili, come dimostrato dal caso di Singapore, dove la formalizzazione semantica ha permesso di automatizzare verifiche che in precedenza richiedevano operazioni manuali

lunghe e complesse. Al tempo stesso, l'efficacia di tali strumenti dipende dalla capacità di interpretarli alla luce delle esigenze specifiche del contesto locale: serve competenza urbanistica per individuare i processi da semplificare e sensibilità al contesto per legarli alle peculiarità di ciascuna città.

Nel caso della città dei 15 minuti, ciò significa affrontare una sfida intrinsecamente complessa che richiede di consultare e mettere in relazione potenzialmente una pluralità di fonti: dataset geospaziali, statistiche socio-demografiche, documenti normativi e regolamentari, indicatori di accessibilità e qualità urbana. Questa frammentazione non riguarda solo i formati, ma anche i linguaggi e le logiche con cui i diversi attori descrivono la città. È proprio in questo contesto che l'impiego di approcci AI basati su *Semantic Web Technologies* si rivela strategico, poiché consente di superare l'eterogeneità dei dati e dei saperi, ricostruendo nello spazio digitale le connessioni logiche e funzionali che nel mondo fisico esistono in maniera naturale. Nella realtà urbana, infatti, gli edifici, le persone, le infrastrutture e i collettivi non sono entità isolate, ma elementi costantemente in relazione attraverso processi e fenomeni complessi.

Nel momento in cui questi legami vengono trasposti in forma digitale, il rischio è che si perdano o si indeboliscano a causa della frammentazione dei dataset e della separatezza delle competenze disciplinari. Le tecnologie

semantiche consentono di recuperare in parte tali relazioni rendendole esplicite e creando rappresentazioni digitali del mondo urbano che risultano sufficientemente fedeli alla realtà e integrate. Applicate al contesto della città a 15 minuti, queste rappresentazioni costituiscono una nuova base di conoscenza, interoperabile e condivisa tra settori diversi, sulla quale fondare analisi, valutazioni e decisioni di pianificazione.

4.1 Una proposta metodologica in quattro fasi

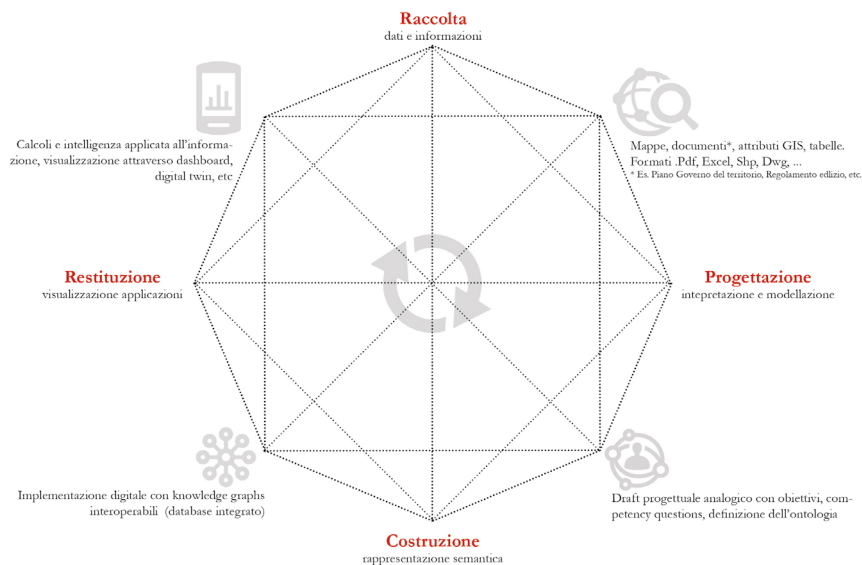
Percorrendo la metodologia basata su ontologie recentemente proposta da Grišiūtė et al. (2025) per la pianificazione dell'uso del suolo in 3D, qui ne proponiamo un adattamento e una generalizzazione in base all'oggetto della ricerca. L'approccio si articola in quattro fasi sequenziali (fig. 1) che, pur essendo cicliche e soggette a continua revisione nella pratica, forniscono una cornice chiara per il passaggio dai dati grezzi a strumenti operativi per la pianificazione:

- a. Raccolta dei dati. La prima fase consiste nel raccogliere ed aggregare informazioni eterogenee provenienti da fonti potenzialmente frammentate in origine. Nel caso della città dei 15 minuti, questo significa raccogliere dati geospaziali utilizzando informazioni presenti nel sistema informativo territoriale su uso del suolo e reti di mobilità, statistiche demografiche, localizzazione dei servizi, indicatori ambientali e documenti normativi e altri dispositivi (es. Piano di governo del territorio, Piano dei servizi, Regolamento del verde, etc.). La sfida principale non è compensare la scarsità di dati, ma lavorare sulla loro dispersione costruendo una base coerente ed interoperabile a partire da fonti eterogenee.
- b. Interpretazione, modellazione e progettazione. I dati devono essere successivamente armonizzati e resi semanticamente consistenti. È in questa fase che emerge l'importanza di definire in maniera chiara gli obiettivi in funzione delle *competency questions* (Katsumi, Fox, 2020): vale a dire le domande guida che definiscono in modo esplicito quali aspetti si intendono comprendere dai dati e come orientare la costruzione dei modelli semantici. Esempi di tali domande, nel contesto della città a 15 minuti, potranno essere: 'che cosa si intende per servizi essenziali', 'quali soglie di accessibilità devono essere considerate' e 'quali tipologie di uso del suolo possono coesistere all'interno dello stesso lotto'. L'interpretazione richiede un processo di armonizzazione per allineare scale, risolvere incongruenze a livello di definizioni e stabilire categorie e relazioni che saranno poi formalizzate in una ontologia che potrà attingere da tipologie esistenti (es. edificio, *land use*, sistema, urbano; Katsumi, Fox, 2020) e altre da sviluppare ex-novo (Aracri et al., 2018).

Schema metodologico proposto

Fonte: Francesco Berni e Andrea Bartolini
Fig.1

- c. Costruzione delle rappresentazioni semantiche. Le conoscenze armonizzate vengono quindi formalizzate all'interno di strutture ontologiche ed espresse tramite SWT. In questa fase diventa cruciale individuare ontologie esistenti in grado di rappresentare le informazioni necessarie, oppure svilupparne di nuove qualora non siano disponibili modelli adeguati. Le ontologie, infatti, forniscono la struttura concettuale necessaria per organizzare l'informazione, in questo caso in senso specifico riguardo entità urbane e le loro relazioni, e che rende possibile formulare risposte coerenti alle *competency questions* definite in precedenza. A partire da tali strutture è possibile costruire dei *knowledge graphs* interoperabili, ovvero strutture dati che collegano in modo esplicito e formale i diversi frammenti d'informazione, rendendo esplicito come questi si integrino e come rappresentino le relazioni tra le componenti urbane. Ad esempio, possono rappresentare come le aree residenziali si collegano ai nodi di mobilità, oppure come le norme urbanistiche vincolano la localizzazione e la fruizione dei servizi. In questo senso, le rappresentazioni semantiche non costituiscono semplici contenitori di dati, ma modelli del sistema urbano che ne riflettono la logica e le regole di funzionamento, garantendo al tempo stesso coerenza semantica e riutilizzabilità tra domini e applicazioni diverse.
- d. Restituzione e visualizzazione delle applicazioni. Infine, i *knowledge graphs* sviluppati costituiscono la base informativa da cui possono originare numerose applicazioni a supporto della pianificazione urbana. Le tipologie di strumenti che si possono costruire sono molteplici e coprono un ampio spettro di funzioni: dalla visualizzazione delle informazioni, tramite *dashboard* interattive e *digital twins* che consentono di esplorare e comunicare lo stato del sistema urbano; a strumenti quantitativi di rendicontazione, che riportano in forma numerica indicatori sintetici su accessibilità, distribuzione dei servizi o performance ambientali; fino ad arrivare a simulatori di scenari e piattaforme di supporto alle decisioni, che permettono a pianificatori e cittadini di valutare alternative e compromessi in maniera trasparente e basata su dati.
- Un ulteriore punto di forza di questo approccio è che i *knowledge graph* non rappresentano soltanto un'applicazione finale, ma essendo una base dati interoperabile sono in grado di supportare altri strumenti anch'essi basati su IA. Una rappresentazione semantica coerente e integrata può infatti sostenere altre tipologie di strumenti come già menzionato, quali algoritmi di *machine learning* per l'analisi e l'inferenza sui dati, così come tecniche di *reinforcement learning* per il supporto a decisioni complesse. In questo senso, il valore delle tecnologie semantiche non si limita a superare la



frammentazione dei dati, ma apre la strada a un ecosistema più ampio di applicazioni di IA, rendendole più robuste, trasparenti e trasferibili al contesto della pianificazione urbana. È proprio a questo punto che l'impatto dell'approccio diventa tangibile: una volta raccolti, interpretati e modellati semanticamente i dati, diventa possibile porre e affrontare interrogativi direttamente rilevanti per la pratica di pianificazione trasformando dati frammentati in conoscenze operative con un collegamento diretto tra modellazione astratta e risultati concreti di politica urbana.

5. Conclusioni

L'implementazione del paradigma della 'città a 15 minuti' nella realtà implica una serie di criticità attuative. Tra queste rientra sicuramente la previsione di servizi e funzioni urbane. Si tratta di una tematica che richiede una maggiore complessità progettuale e attuativa rispetto ad interventi di natura spaziale su cui

una municipalità può avere margini di manovra superiori. Tuttavia, una possibilità per incidere nella sfera immateriale dei servizi potenziando fattivamente la dotazione urbana di un determinato quartiere può scaturire da interventi previsti nella pianificazione attuativa durante la pratica negoziale tra pubblico e privato. Questo ragionamento vale sicuramente per alcune città attrattive italiane anche se può risultare impercorribile per altre realtà territoriali marginali e periferiche del nostro paese. Milano, ad esempio, ha sviluppato una metodologia di lavoro per individuare il fabbisogno di servizi in una determinata 'service area' collegata a grandi progetti di trasformazione urbana come l'intervento di 'Scalo Farini'. Questo tentativo di superare approcci previsionali fondati su standard e bacini teorici di utenza, in favore di soluzioni elaborate a partire dai dati effettivamente disponibili presso gli enti locali, presenta tuttavia, una serie di limiti applicativi. Essi riguardano soprattutto le for-

ti limitazioni nella scalabilità del modello che può riguardare la previsione di servizi di rango superiore alla scala di quartiere e interventi di minor portata rispetto alle grandi operazioni di trasformazione. Risulterebbe insostenibile quindi, un'estensione diffusa ad altre tipologie di interventi (cfr. 2.1) in termini di carico di lavoro necessario, considerando anche, la parziale capacità attuale di aggiornamento e automazione. A questo si aggiungono due ordini di problemi: da un lato, la vincolata interoperabilità, essendo le informazioni separate nei fatti e dall'altro, criticità nel processo pianificatorio che non prevede la possibilità di integrare informazioni scaturite dall'ingaggio e la partecipazione della cittadinanza⁹.

Pertanto, un possibile avanzamento del modello milanese può essere rappresentato dall'applicazione dell'intelligenza artificiale alla pianificazione dei servizi attraverso il ricorso ad ontologie e *knowledge graph* che può rivelare i seguenti vantaggi:

- a. Facilità di integrazione delle informazioni superando la 'classica' frammentazione del dato attraverso una base semantica coerente e interrogabile fondata su una interoperabilità che consente di collegare domini diversi in un unico linguaggio condiviso (es. demografia, mobilità, servizi, normativa, etc.). A questo si aggiunge la possibilità di integrare dati e informazioni in tempo reale rendendo dinamico il processo di aggiornamento (es. mobilità, sensori urbani, open data, etc.).
- b. Scalabilità e possibile riuso intensivo in quanto una volta impostata l'ontologia, può essere applicata a più casi, dalla piccola alla grande scala, con aggiornamenti che possono richiedere un moderato impegno lavorativo sul lungo periodo.
- c. Supporto decisionale dotato di maggior solidità grazie alle inferenze semantiche che permettono scenari con maggiore trasparenza, confrontabili e riproducibili nei limiti intrinseci dello strumento che al di là del bene e del male detiene un certo grado di discrezionalità decisionale non eliminando del tutto gli eventuali conflitti tra interessi pubblici e privati. In tal senso, le decisioni restano pur sempre soggette a negoziazioni e rapporti di forza esistenti. In altre parole, lo strumento non è mai neutro ma è sempre supportato da una visione politica a monte che, in questo caso, deve essere legata auspicabilmente al potenziamento della 'città pubblica'. Questo delicato punto richiama pertanto il ruolo del pianificatore urbano nell'interpretazione e contestualizzazione dei risultati ottenuti rispetto ad un contesto locale non riducibile ad un processo tecnico di natura razional comprensivo. In questo senso diventa fondamentale l'ingaggio della cittadinanza per includere diversi punti di vista, esperienze sensibili e condividere un percorso di trasformazione da sviluppare in modo integrato e aperto.

d. Generatività dell'approccio che permette una connessione con l'ecosistema AI nel suo complesso in quanto i *knowledge graph* possono alimentare altri algoritmi ampliando lo spettro delle possibili di elaborazione (es. machine learning, simulazioni predittive, etc.).

Per quanto concerne i possibili limiti dell'approccio proposto per la città di Milano, rimane molto significativo l'investimento iniziale per quanto ammortizzabile nel lungo periodo confinando questa tecnologia a contesti urbani di grandi dimensioni e dotati dei necessari investimenti con la disponibilità di notevoli risorse anche in termini di tempo e competenze specialistiche per definire le ontologie, armonizzare i dati e costruire la base semantica. A questo si aggiunge la necessità di competenze professionali rare a cavallo tra urbanistica, informatica, data science con un rischio di scarsa capacità di mantenimento sul medio lungo periodo all'interno della pubblica amministrazione. Un ulteriore punto è rappresentato dalla contestualizzazione della tecnologia e la dipendenza dalle variabili del contesto. I modelli ontologici devono essere adattati alle specificità locali (es. normative, sistemi informativi comunali, pratiche amministrative, etc.) che possono rendere molto complesso il percorso di implementazione dello strumento con il rischio di uno sforzo eccessivo nella sua effettiva applicazione. Per queste ragioni, l'AI non rappresenta una soluzione immediata, ma una

prospettiva strategica di medio-lungo periodo. Il suo valore risiede nella capacità di innovare i processi di pianificazione dei servizi rendendoli più dinamici, integrati e trasparenti, purché sia accompagnata da un rafforzamento delle capacità istituzionali e da una governance capace di coniugare tecnologie, interessi pubblici e partecipazione civica.

Note

¹ Alcuni esempi hanno riguardato lo sviluppo di artefatti quali knowledge models basati su semantic web technologies ed ontologie sono stati dimostrati nelle loro applicazioni a supporto della rappresentazione e fruizione di master plans e regolamenti urbanistici (Silvennoinen et al., 2023), come anche della pianificazione di piste ciclabili tramite armonizzazione di metriche valutative (Grisiute et al., 2024).

² In dettaglio, il primo relatore è stato coinvolto nella fase di avvio delle prime sperimentazioni applicative in alcuni piani attuativi della città (Piazza d'Armi, Scalo Farini e Bruzzano). In relazione ai risultati e limiti riscontrati nella suddetta esperienza, è stata sviluppata una successiva proposta di avanzamento di natura indipendente curata da entrambi i redattori del presente contributo con la finalità di innovare il processo di pianificazione dei servizi milanese attraverso l'applicazione dell'intelligenza artificiale. Per ulteriori dettagli rispetto alla sperimentazione originale, si rimanda a Berni F., Castellanza S., Monti B. 2025, Progettare la prossimità: processi data driven nel disegno dei servizi urbani a Milano, Atti XXVI Conferenza SIU Napoli, V.4, Planum Publisher.

³ Lo scalo Farini è una grande area ferroviaria dismessa di 618.733 mq che occupa integralmente il NIL 78 e si colloca, separandoli, tra i quartieri di Dergano e Bovisa a nord, dell'Isola a est, di Ghisolfa e Sarpi a sud-ovest. L'area è interessata principalmente da due piani attuativi parte dell'accordo di programma scali che sottende l'operazione con le unità Scalo e Valtellina. Le aree sono disciplinate dall'Accordo di Programma per la trasformazione urbanistica degli scali ferroviari dismessi, approvato dalla Regione Lombardia in data 23 giugno 2017. Il piano prevede alcune attrezzature pubbliche che riguardano la realizzazione di parco e spazi pubblici, il riuso di un grande spazio produttivo per funzioni di interesse generale, la realizzazione di edifici residenziali a corte e una torre a uffici.

⁴ Milano è divisa in 88 aree dette 'nuclei d'identità locale' previste dal Piano di governo del Territorio che rappresentano un'ulteriore suddivisione territoriale del Comune di Milano corrispondendo alle unità minime di programmazione.

⁵ Nello specifico, il sistema attinge principalmente da database di proprietà del Comune di Milano gestiti in modo integrato tra le diverse direzioni dell'ente che si occupano di aggiornare seguendo un protocollo condiviso.

⁶ Abitanti equivalenti sono calcolati in funzione della superficie utile lorda prevista.

⁷ Rimane sullo sfondo dei limiti descritti, la questione della discrezionalità decisionale in quanto le analisi svolte restano comunque degli strumenti di supporto che non eliminano del tutto gli eventuali conflitti tra interessi pubblici e privati che possono annidarsi all'interno di tali processi. A questo si aggiunge la difficoltà tecnica di analizzare in modo sistematico, la crescente mobilità sociale connessa a stili di vita sempre più dinamici che si esprimono nella difficoltà nel considerare i 'city user' che rappresentano degli attori importanti nel contesto milanese.

⁸ Cfr. 2.1

⁹ Si tratta di un elemento importante da contestualizzare anche rispetto al recente dibattito pubblico sulle criticità del modello di pianificazione urbanistica milanese e le accuse di forte sbilanciamento verso interessi privati (Barbacetto, 2025; Tozzi, 2023) connesse anche alle inchieste giudiziarie attualmente in corso.

Bibliografia

- Aracri R.M., Radini R., Scannapieco M., Tosco L. 2018, Using ontologies for official statistics: the Istat experience, in I. Garrigós, M. Wimmer (a cura di), *Current Trends in Web Engineering*, Lecture Notes in Computer Science, Springer, Cham, pp. 166–72, doi: 10.1007/978-3-319-74433-9_15.
- Balducci A., Fedeli V., Curci F. 2017, *Oltre la metropoli*, Guerrini e Associati, Milano.
- Barbacetto G. 2025, *Contro Milano. Ascesa e caduta di un modello di città*, Paper First, Roma.
- Batty M. 1971, Modelling cities as dynamic systems, «*Nature*», 231(5303), pp. 425–28, doi:10/fgdwvd.
- Batty M. 2013, *New science of cities*, Mit Press, Cambridge US.
- Batty M. 2020, Defining complexity in cities, in D. Pumain (a cura di), *Theories and models of urbanization*, Lecture Notes in Morphogenesis, Springer, Cham, pp. 13–26, doi:10.1007/978-3-030-36656-8_2.
- Benevolo L., 1999, *Storia dell'architettura moderna*, Laterza, Bari.
- Berni F., Castellanza S., Monti B. 2025, Progettare la prossimità: processi data driven nel disegno dei servizi urbani a Milano, «*Atti XXVI Conferenza SIU Napoli*», V.4, Planum Publisher.
- Brenner N. 2016, *Stato, spazio e urbanizzazione*, Guerrini e Associati, Milano.
- Bonomi A. 2008, *Milano ai tempi della moltitudine*, Mondadori, Milano.
- Chadzynski A., Krdzavac N., Farazi F., Lim M.Q., Li S., Grišiūtė A., Herthogs P., et al. 2021, Semantic 3D city database – an enabler for a dynamic geospatial knowledge graph, «*Energy and AI*», 6, 100106, doi: 10.1016/j.egyai.2021.100106.
- Chadzynski A., Li S., Grišiūtė A., Chua J., Hofmeister M., Yan J., Tai H.Y., et al. 2023, Semantic 3D city interfaces – intelligent interactions on dynamic geospatial knowledge graphs, «*Data-Centric Engineering*», 4, e20, doi: 10.1017/dce.2023.14.
- Chadzynski A., Li S., Grišiūtė A., Farazi F., Lindberg C., Mosbach S., Herthogs P., Kraft M. 2022, Semantic 3D city agents – an intelligent automation for dynamic geospatial knowledge graphs, «*Energy and AI*», 8, 100137, doi: 10.1016/j.egyai.2022.100137.
- Chaillou S. 2021, AI and architecture: an experimental perspective, in *The Routledge Companion to Artificial Intelligence in Architecture*, Routledge, London, 22 pp.
- Chase J., Crawford M., Kaliski J. 1999, *Everyday urbanism*, Monacelli Press, New York.
- Cities Knowledge Graph. 2023, <https://fcl.ethz.ch/research/research-projects/cities-knowledge-graph.html> (30/08/2025).
- Diappi L. 2009, *Rigenerazione urbana e ricambio sociale*, Angeli, Milano.
- Donolo C. 1997, *L'intelligenza delle istituzioni*, Feltrinelli, Milano.
- European Commission – Joint Research Centre. 2020, *AI Watch: Defining Artificial Intelligence: Towards an operational definition and taxonomy of artificial intelligence*, Publications Office, Luxembourg, <https://data.europa.eu/doi/10.2760/382730> (30/08/2025).
- Gainsforth, S. 2025, *L'Italia senza casa: Politiche abitative per non morire di rendita*, Laterza, Roma.
- Granata E., Lanzani A., Longo A., Coppola A. 2024, *Necrologio per l'urbanistica? Se per cercare di salvare Milano si mette a rischio tutta l'Italia*, «*Gli Stati Generali*», Milano.

- Grišiūtė A., Silvennoinen H., Li S., Chadzynski A., Raubal M., Kraft M., von Richthofen A., Herthogs P. 2023, A semantic spatial policy model to automatically calculate allowable gross floor areas in Singapore, in M. Turrin, C. Andriotis, A. Rafiee (a cura di), *Computer-Aided Architectural Design. INTERCONNECTIONS: Co-Computing Beyond Boundaries*, Communications in Computer and Information Science, Springer, Cham, pp. 455–69, doi: 10.1007/978-3-031-37189-9_30.
- Grišiūtė A., Wiedemann, N., Herthogs, P., & Raubal, M. (2024). An ontology-based approach for harmonizing metrics in bike network evaluations. *Computers, Environment and Urban Systems*, 113, 102178. <https://doi.org/10.1016/j.compenvurbsys.2024.102178>
- Grišiūtė A., Raubal M., Herthogs P. 2025, 3D land use planning: making future cities measurable with ontology-driven representations of planning regulations, «AGILE: GIScience Series», 6, pp. 1–17, doi:10.5194/agile-giss-6-3-2025.
- Hall P. 1996, *Cities of Tomorrow: An Intellectual History of Urban Planning and Design in the Twentieth Century*, Blackwell, Oxford.
- Hitzler P., Kröttsch M., Rudolph S. 2009, *Foundations of semantic web technologies*, CRC Press, Boca Raton.
- Hu Y., Lv Z., Wu J., Janowicz K., Zhao X., Yu B. 2015, A multistage collaborative 3D GIS to support public participation, «*International Journal of Digital Earth*», 8(3), pp. 212–34, doi:10.1080/17538947.2013.866172.
- Katsumi M., Fox M. 2020, *iCity transportation planning suite of ontologies*.
- Lees L. 2010, *Super-gentrification: the case of Brooklyn Heights, New York City*, Routledge, London.
- Lim M.Q., Wang X., Inderwildi O., Kraft M. 2022, The World Avatar – a world model for facilitating interoperability, in O. Inderwildi, M. Kraft (a cura di), *Intelligent Decarbonisation, Lecture Notes in Energy*, Springer, Cham, pp. 39–53, doi:10.1007/978-3-030-86215-2_4.
- Manzini E. 2018, *Politiche del quotidiano*. Edizioni di Comunità, Roma
- Minton, A. 2017, *Big Capital: Who is London for?*, Penguin Books, London.
- Moreno C. 2024, *La città dei 15 minuti. Per una cultura urbana democratica*, Add editore, Torino
- Ostrom E. 1990, *Governing the commons: the evolutions of Institutions for collective actions*, Cambridge University Press, Cambridge.
- Perry C. A. 1929, *Regional Survey of New York and its Environs, Neighborhood and Community Planning*, New York, Vol. VII.
- Sarker I.H. 2022, AI-based modeling: techniques, applications and research issues towards automation, intelligent and smart systems, «*SN Computer Science*», 3(2), 158, doi:10.1007/s42979-022-01043-x.
- Sassen S. 1991, *The global city*, Princeton University Press, Princeton (NJ).
- Scott P. 1999, The research-policy gap, «*Journal of Education Policy*», 14(3), pp. 317–37.
- Silvennoinen H., Chadzynski A., Farazi F., Grišiūtė A., Shi Z., von Richthofen A., Cairns S., et al. 2023, A semantic web approach to land use regulations in urban planning: the OntoZoning ontology of zones, land uses and programmes for Singapore, «*Journal of Urban Management*», doi: 10.1016/j.jum.2023.02.002.

Schrotter G., Hürzeler C. 2020, The digital twin of the city of Zurich for urban planning, «PFG – Journal of Photogrammetry, Remote Sensing and Geoinformation Science», 88(1), pp. 99–112, doi:10.1007/s41064-020-00092-2.

Stead D. 2021, Conceptualizing the policy tools of spatial planning, «Journal of Planning Literature», 36(3), pp. 297–311, doi: 10.1177/0885412221992283.

Stojanovski T. 2018, City information modelling (CIM) and urban design – morphological structure, design elements and programming classes in CIM, in «Proceedings of eCAADe», Łódź, pp. 507–16, doi: 10.52842/conf.ecaade.2018.1.507.

Stratigea A., Papadopoulou C.-A., Panagiotopoulou M. 2015, Tools and technologies for planning the development of smart cities, «Journal of Urban Technology», 22(2), pp. 43–62.

Tomlinson R.F. 1969, A geographic information system for regional planning, «Journal of Geography (Chigaku Zasshi)», 78(1), pp. 45–48, doi: 10.5026/jgeography.78.45.

Tozzi L. 2023, L'invenzione di Milano. Culto della comunicazione e politiche urbane, Cronopio, Napoli.

Von Richthofen A., Herthogs P., Kraft M., Cairns S. 2022, Semantic city planning systems (SCPS): a literature review, «Journal of Planning Literature», 37(1), pp. 1–18, doi: 10.1177/08854122211068526.

Urban Artificial Intelligence in Mobility Infrastructure: Lessons for Just and Inclusive Cities

Asma Mehan

Huckabee College of Architecture, Texas Tech University
asma.mehan@ttu.edu
orcid.org/0000-0002-7381-6663

Received: August 2025 / Accepted: December 2025 | © 2025 Author(s).
This article is published with Creative Commons license CC BY-SA 4.0 Firenze
University Press.
DOI: 10.36253/contest-16690

keywords

urban artificial intelligence
emergency response
infrastructure monitoring
equity
sustainability

1. Introduction

Today's cities are increasingly governed by invisible computational frameworks—layered systems that shape not only the movement of people and goods but also the everyday operations that make urban life possible. These digital layers do more than orchestrate urban functions; they actively reshape how cities are managed, experienced, and understood. As urban environments become more complex and data-intensive, computational intelligence has emerged as a central mechanism for interpreting, predicting,

and intervening in urban processes. This convergence has given rise to what is increasingly described in the literature as Urban Artificial Intelligence (Urban AI).

Urban AI represents a substantive shift beyond earlier smart city paradigms, which primarily emphasized sensor deployment, data aggregation, and rule-based system optimization. While early smart city initiatives often relied on descriptive analytics and pre-programmed automation,

Artificial Intelligence is increasingly embedded in urban mobility and emergency response systems, where real-time decision-making, infrastructure coordination, and public safety converge. This article examines Urban Artificial Intelligence (Urban AI) through the domain of traffic management and emergency mobility, using these systems as a strategic entry point for analyzing broader questions of governance, equity, and resilience in AI-enabled cities. The paper develops a theoretical framework that distinguishes among cognitive, data-driven, and hybrid Urban AI models, highlighting

how each approach shapes urban knowledge production, operational performance, and accountability. This framework is grounded through three U.S.-based case studies: AI-enabled emergency vehicle preemption in Fremont, California; AI-assisted subway infrastructure monitoring in New York City; and AI-driven signal coordination for emergency routing in Seattle. Together, these cases illustrate how Urban AI systems are deployed in real-world contexts to enhance efficiency, safety, and resilience. The analysis demonstrates that while Urban AI can significantly improve urban operations, its long-term legitimacy depends on integrating principles of equity, transparency, environmental responsibility, and participatory governance. The article concludes by arguing for integrated Urban AI models that balance technical effectiveness with democratic oversight, positioning Urban AI as a critical component of just, resilient, and inclusive urban futures.

contemporary Urban AI systems incorporate machine learning, predictive modeling, and adaptive decision-making to support real-time urban governance. In this sense, Urban AI extends smart city logics from monitoring and efficiency toward learning-based, anticipatory,

and interventionist systems. As Caprotti (2024) argues, these developments not only transform how urban systems operate but also generate new metaphors and experiences of urban life, reshaping how cities are inhabited and governed. While Urban Artificial Intelligence is applied across a wide range of urban domains, this study focuses specifically on urban traffic management and emergency mobility infrastructures. These systems represent one of the most mature, data-intensive, and governance-sensitive areas of Urban AI deployment, where the societal consequences of algorithmic decision-making are immediate and measurable (Varış Husar et al., 2025; 2023). By examining AI-enabled traffic control, infrastructure maintenance, and emergency routing, the paper uses mobility systems as an analytical lens to explore broader issues of accountability, equity, and institutional legitimacy in Urban AI, rather than claiming comprehensive coverage of all urban AI applications (Mostafavi et al., 2025). From an operational perspective, Urban AI systems such as AI-driven “city brains” centralize heterogeneous urban data streams and apply predictive analytics to actively manage citywide functions. A prominent example is Hangzhou’s City Brain, which integrates real-time data from cameras, sensors, and traffic authorities to optimize traffic flow and emergency response across the metropolitan area (Atlas of Urban Tech, 2025;

Wired, 2018). While such cases demonstrate measurable performance improvements—particularly in mobility and response times—they also foreground deeper questions about governance, accountability, and power embedded within AI-mediated urban systems. The growing integration of the Artificial Intelligence of Things (AIoT)—combining physical sensors, digital twins, cloud platforms, and edge analytics—has further expanded the scope of Urban AI. These systems enable predictive infrastructure maintenance, proactive responses to environmental hazards, and dynamic emergency routing (Bibri et al., 2024; Jagatheesaperumal et al., 2024). Together, they form what may be described as intelligent urban ecosystems. Yet, as Urban AI systems increasingly automate or mediate decisions with significant social consequences, they raise pressing political and ethical concerns. AI-enabled urban infrastructures can facilitate surveillance, normalize asymmetries of power, and obscure decision-making processes, making issues of legitimacy, transparency, and democratic accountability central rather than peripheral ((Mehan & Dominguez, 2024; Wolniak & Stecuła, 2024). This article addresses these challenges by conceptualizing Urban AI not as a purely technical innovation but as a governance infrastructure. It advances a framework that distinguishes among cognitive (semantic), data-driven, and hybrid Urban AI models,

synthesized from existing research in urban ontologies, urban computing, and hybrid artificial intelligence. These typologies provide a lens for understanding how different AI architecture’s structure urban knowledge, decision-making, and accountability. The article is organized into three interconnected parts. First, it develops the theoretical foundations of Urban AI, elaborating the cognitive, data-driven, and hybrid typologies and situating them within the relevant literature. Second, it examines three U.S.-based case studies—AI-enabled emergency vehicle preemption, AI-assisted infrastructure monitoring, and AI-driven traffic signal coordination—to demonstrate how these models operate in practice. Finally, the article critically evaluates the social, environmental, and governance implications of Urban AI, arguing for integrated approaches that balance operational effectiveness with equity, resilience, and democratic legitimacy.

2. Urban AI in Relation to Urban Informatics and Urban Science

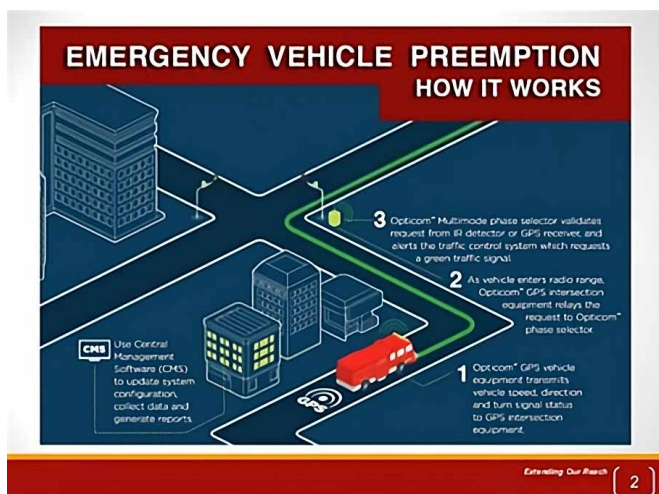
Urban Artificial Intelligence builds upon and extends two well-established interdisciplinary traditions: urban informatics and urban science. Situating Urban AI within these fields is essential to clarify its epistemological foundations and to distinguish it from narrower, application-oriented interpretations of artificial intelligence in cities. Urban

informatics, as articulated by Foth and colleagues, foregrounds the socio-technical relationships between people, place, and technology, emphasizing participatory processes, situated knowledge, and civic engagement in digitally mediated urban environments (Mehan, 2025a; Foth et al., 2011; Foth et al., 2019). Rather than treating cities as purely computational systems, urban informatics positions digital technologies as embedded within everyday urban life, shaped by social practices, institutional arrangements, and cultural values. From this perspective, Urban AI is not merely a tool for optimization but a mediating infrastructure that influences how urban knowledge is produced, interpreted, and acted upon.

Urban science, by contrast, approaches the city as a complex adaptive system whose dynamics can be analyzed through data-intensive modeling, simulation, and statistical inference (Mehan, 2025b; Batty, 2013; Batty, 2021). Drawing on complexity theory, network science, and spatial analysis, urban science has advanced methods for understanding urban scaling, mobility patterns, land-use change, and infrastructural interdependencies. Urban AI aligns closely with this tradition through its use of machine learning, predictive analytics, and large-scale urban datasets, yet it also extends urban science by enabling adaptive and real-time decision-making rather than retrospective analysis alone.

The conceptual framework advanced in this paper—distinguishing cognitive (semantic), data-driven, and hybrid Urban AI models—emerges at the intersection of these two traditions. Cognitive and semantic approaches resonate with urban informatics by prioritizing interpretability, shared ontologies, and human-centered understanding, while data-driven models reflect the analytical ambitions of urban science (Mehan, 2025c; 2025d; 2025e). Hybrid approaches integrate these logics, combining learning-based optimization with explicit knowledge representations and governance constraints. By grounding Urban AI within urban informatics and urban science, the paper positions artificial intelligence not as a rupture from prior urban scholarship, but as an evolution of long-standing efforts to understand, govern, and co-produce urban systems.

The three lenses—cognitive, data-driven, and hybrid—complement each other and give a more sophisticated picture of what it means to be artificial and intelligent in the urban context. They also provide a better sense of what types of structures, applications, and governance might work within the complicated systems we call cities. The cognitive standpoint underscores the significance of clear semantics and well-structured knowledge in urban environments. Some investigators have crafted ontologies—formal systems that delineate the interconnections among urban entities like road networks, traffic sensors,



and public transportation routes—to promote interoperability and a shared comprehension of what these systems are and how they function. An effort that stands out is the KM4City framework. This framework takes in different kinds of public and private data, like road conditions and sensor outputs, and reconciles them with the help of semantic models. These services are made available via SPARQL queries to RDF stores (Bellini et al., 2015). In the same way, systematic reviews show that smart-city ontologies improve integration of urban services, enable better handling of big data, and allow for more automated reasoning (Stübinger & Schneider, 2020). These models of being provide a shared conceptual foundation for the coherent communication of different agencies and platforms in an ecosystem of data. They ground Urban AI and, in the process, make possible an ontology of Urban AI.

The data-driven branch concentrates on using large sensor and management datasets to create machine learning models, allowing researchers to sidestep the need for clear semantics in favor of data-driven predictions

(Mehan, 2024a; 2024b). Urban computing researchers demonstrate that using deep learning models—like convolutional and recurrent neural networks—can forecast the kinds of patterns and events this fused dataset generates. For instance, they might predict where and when traffic will occur, what kinds of environmental changes are in our near future, or how intense and widespread an emergency response will need to be (Mehan & Casey, 2025; Zou et al., 2024).

Connecting these two approaches, hybrid frameworks embed structured, ontological knowledge within learning-based models. A recent study combined ontological reasoning with machine learning to forecast spring breakups, demonstrating improvements in predictive accuracy and interpretability. Beyond purely hydrological domains, hybrid AI models also surface in (urban) environmental and energy forecasting contexts; for instance, a PSOGA-augmented neural model has been used to predict water demand (Mehan & Mostafavi, 2025; Zubaidi et al., 2024), and deep-learning frameworks have successfully forecasted air quality across urban areas (Aggarwal et al., 2021).

Schematic representation of AI-enabled Emergency Vehicle Preemption (EVP), illustrating how real-time GPS data, predictive arrival modeling, and signal control logic interact to dynamically coordinate green-light corridors for emergency vehicle

Source: Fairfax County EVP system diagram, adapted
Fig. 1

Evaluative literature further illustrates how hybrid strategies enhance city planning. Such approaches typologically include these three: ontological enhancements of machine learning models, semantic data-mining systems, and synergistic reasoning architectures (Ghidalia et al., 2024). Surveys of smart eco-cities serve to complement this portrait. They find that data-driven smart districts are increasingly blending big data techniques with environmental design imperatives. From this survey of the landscape, we can discern a layered architecture for Urban AI. Cognitive, data-driven, and hybrid frameworks form its strata. For the first time in urban history, we have models that obviate the not-so-smart “functional” systems of the past for something more intelligible, adaptable, and ethically grounded. These new systems allow us to say something with confidence regarding Urban AI’s capacity to heed the three imperatives of accountability, inclusivity, and resilience.

3. Tools and U.S.-Based Case Studies

This study adopts a purposeful case selection strategy to examine how Urban Artificial Intelligence operates across different infrastructural domains and AI architectures. The three U.S.-based case studies—Fremont (California), New York City, and Seattle—were selected to represent distinct operational contexts (emergency response, infrastructure maintenance, and traffic signal coordination)

and to empirically illustrate the three Urban AI typologies developed in the theoretical section: semantic (cognitive), data-driven, and hybrid models. While all cases are drawn from the United States, this deliberate focus allows for comparison within a relatively consistent regulatory and institutional environment; the aim is conceptual generalization rather than statistical representativeness. Together, the cases demonstrate how Urban AI systems are embedded within existing urban governance structures and how different AI architectures shape operational performance, accountability, and equity outcomes.

3.1 Fremont, California – LYT Emergency Vehicle Preemption

The deployment of LYT’s AI-driven emergency vehicle preemption system in Fremont, California exemplifies a hybrid Urban AI model, combining real-time data-driven prediction with rule-based traffic control logic. The LYT emergency platform allows emergency vehicles to converse in real-time with networked traffic signals. This setup allows for a predictive, continuous green-light corridor for emergency vehicles, thanks to cloud orchestration through the Traffic Management Center (GovTech, 2022; Traffic Technology Today, 2022; PR Newswire, 2022). GPS-based vehicle location data and historical traffic patterns are processed in real time to anticipate vehicle arrival at intersections and to coordinate



A retraining NYC A-line subway car, emblematic of the TrackInspect pilot in which Google Pixel smartphones were mounted inside and beneath cars to collect vibration and audio data essential for AI-driven track maintenance (This image reflects the actual rolling stock and setting used in the TrackInspect experiment).

Source: Railway Magazine

Fig. 2

signal preemption accordingly. Empirically, the system produced measurable operational improvements. Fire and ambulance response times were reduced by approximately 18.6% for high-priority calls and up to 69.2% for moderate-priority responses, while average cross-town travel times decreased from 46 minutes to 14 minutes (Traffic Technology Today, 2022). Importantly, these gains were achieved through a software-based intervention, without the installation of new roadside hardware, enabling scalability and cost efficiency.

From a governance perspective, the system incorporates predefined safety rules that allow cross traffic, cyclists, and pedestrians to clear intersections before signal preemption occurs. This design feature links technical optimization to equity and safety considerations, ensuring that emergency prioritization does

not disproportionately compromise other road users. Initially deployed across eight intersections as part of Fremont's Vision Zero strategy, the system was later scaled to 37 intersections under a five-year service agreement, illustrating how hybrid Urban AI can be incrementally integrated into existing urban infrastructures.

3.2 New York City - TrackInspect Subway Maintenance Pilot

The TrackInspect pilot, developed by the Metropolitan Transportation Authority (MTA) in partnership with Google Public Sector, illustrates a data-driven Urban AI approach focused on predictive infrastructure maintenance. Over a four-month period (September 2024-January 2025), six Google Pixel smartphones were installed on R46 subway cars operating on the A line. These



A promotional image depicting multiple Seattle intersections and skyline, representing the AI-powered “green wave” emergency routing system deployed by LYT and Yunex across 32 signals near the University of Washington.

Source: Yunex Traffic partnership announcement, 11 July 2023

Fig. 3

devices collected large-scale sensor data, including vibration, audio, and GPS signals—amounting to over 335 million sensor readings and 1,200 hours of audio recordings (MTA & Google Public Sector, 2025; Metro Magazine, 2025). Unlike semantic systems that rely on explicit ontologies, TrackInspect employs machine learning models trained on historical defect data and sensor patterns to identify anomalies associated with track deterioration. Cloud-based processing integrates newly collected sensor data with the MTA's existing defect databases, enabling pattern recognition and probabilistic prediction. The system successfully detected 92% of verified track defects, demonstrating the effectiveness of purely data-driven inference in complex urban infrastructure contexts (Mehan & Mostafavi, 2024; Wired, 2025). The contribution of this system to resilience and equity lies in

its preventive orientation. By identifying maintenance needs before failures occur, TrackInspect reduces service disruptions that disproportionately affect transit-dependent populations. Crucially, the system operates as a decision-support tool, augmenting rather than replacing human inspectors, thereby preserving institutional accountability and professional judgment within the maintenance workflow.

3.3. Seattle – AI-Enabled Green Wave Systems for Emergency Routing

Seattle's AI-enabled “green wave” emergency routing system represents a network-level hybrid Urban AI model that integrates real-time data streams with centralized traffic signal coordination. Implemented as part of the MICMA initiative, the system was developed through collaboration between LYT,

Yunex Traffic, and the Seattle Department of Transportation (SDOT). It operates across approximately 50 intersections near the University of Washington campus, coordinating emergency vehicle routing through the LYT.speed cloud platform (Yunex Traffic, 2023; SmartCitiesWorld, 2023).

The system integrates live data from the Seattle Fire Department's CAD/AVL dispatch system with SDOT's intelligent transportation infrastructure. Predictive analytics anticipate vehicle trajectories, while rule-based signal logic ensures compliance with safety protocols even when AI controllers are temporarily offline. This hybrid architecture enables both adaptability and robustness—key attributes of resilient Urban AI systems. From an equity and governance standpoint, the system is explicitly designed to optimize signal timing for all road users, not solely emergency vehicles. As noted by SDOT leadership, signal optimization improves safety under varied visibility and traffic conditions, benefiting pedestrians, cyclists, and motorists alike (Seattle DOT, 2024). By shifting from intersection-level preemption to coordinated network governance, the Seattle case illustrates how Urban AI can scale across jurisdictions while maintaining institutional coherence and public accountability.

4. Cross-Case Synthesis

Taken together, these cases demonstrate how different Urban AI typologies operate across

urban domains and scales. The Fremont and Seattle systems exemplify hybrid architectures that balance predictive analytics with rule-based governance constraints, while TrackInspect illustrates the strengths and limitations of purely data-driven AI in infrastructure monitoring. Across all cases, claims of resilience, inclusiveness, and equity are grounded not in abstract outcomes but in specific system design choices—including preventive maintenance, safety-oriented signal logic, and human-in-the-loop decision-making.

4.1 Risks, Governance Challenges, and Mitigation Strategies in Urban AI

While Urban Artificial Intelligence offers measurable benefits in domains such as mobility management and emergency response, its increasing integration into urban governance also introduces significant risks that warrant systematic examination. These risks are not merely speculative but emerge from the operational characteristics of AI-driven urban systems, particularly their reliance on large-scale data collection, automated decision-making, and opaque optimization processes.

One major risk concern algorithmic opacity and accountability. Many Urban AI systems—especially data-driven and learning-based models—operate as black boxes, making it difficult for public agencies and citizens to

understand how decisions are made or to contest erroneous outcomes (Wolniak & Stecuła, 2024). This lack of interpretability can undermine democratic oversight, particularly in safety-critical contexts such as emergency routing and infrastructure prioritization.

A second risk relates to equity and spatial justice. Urban AI systems trained on historical data may reproduce or amplify existing spatial inequalities, directing resources toward already well-served areas while marginalizing others. In mobility and emergency response systems, this can translate into uneven service provision and differential exposure to risk (Bibri, 2021). Without deliberate corrective mechanisms, efficiency-oriented optimization may conflict with social equity goals. A third concern involves surveillance and data governance. AI-enabled urban infrastructures often depend on continuous sensing, location tracking, and behavioral data, raising issues of privacy, consent, and function creep (Mehan, 2023a; 2023b). When integrated across platforms, these systems can enable forms of pervasive monitoring that exceed their original operational purpose. To address these risks, the literature increasingly emphasizes governance-oriented mitigation strategies. These include embedding human-in-the-loop decision-making, defining explicit normative constraints within optimization objectives, adopting transparency and auditability standards, and ensuring participatory oversight in system

design and deployment. In the context of Urban AI, mitigation should be understood not as a technical add-on but as a core design requirement aligned with public values and institutional accountability. By situating risks and responses within the operational realities demonstrated by the case studies, this analysis underscores that the societal impact of Urban AI depends less on the technology itself than on the governance frameworks through which it is implemented.

4.2 Academic Models: Reinforcement Learning and Operational Optimization

This section complements the preceding empirical case studies by examining academic Urban AI models that have not yet been widely deployed at scale but play a critical role in shaping the future of urban governance and infrastructure optimization. Unlike the applied cases discussed earlier, these models are primarily developed and tested in research settings and simulation environments. Their inclusion serves two purposes: first, to illustrate how Urban AI is being theorized and operationalized in the academic literature beyond commercial platforms; and second, to demonstrate how advanced learning-based models extend the conceptual typologies of Urban AI—particularly data-driven and hybrid approaches—toward more adaptive, anticipatory, and system-level decision-making.

4.3 Reinforcement Learning for Network-Level Urban Optimization

Reinforcement learning (RL) is a class of machine learning methods in which an agent learns to make sequential decisions by interacting with an environment and optimizing long-term rewards rather than immediate outcomes. RL is particularly well suited to dynamic, uncertain, and multi-agent urban systems, such as traffic networks, where conditions change continuously and decisions at one location affect outcomes elsewhere. For this reason, RL has become increasingly prominent in urban mobility research, signal control, and emergency routing.

The EMVLight framework exemplifies this approach. EMVLight is a multi-agent deep reinforcement learning model in which each traffic intersection functions as a learning agent that cooperatively optimizes emergency vehicle routing and signal control across a network (Su et al., 2022; Su et al., 2023). Unlike traditional shortest-path algorithms, which focus solely on minimizing travel time for a single vehicle, EMVLight simultaneously considers emergency and non-emergency traffic, optimizing overall network performance. Simulation results demonstrate substantial reductions in emergency response times (42.6%) while also improving travel efficiency for non-emergency vehicles (23.5%). Within the Urban AI framework developed in this article, EMVLight represents a

data-driven model with hybrid governance implications. While the learning process is largely data-driven, the model's reward structure embeds normative priorities—such as minimizing disruption to non-emergency traffic—thereby illustrating how ethical and equity considerations can be indirectly encoded into optimization objectives. This makes reinforcement learning a powerful, but governance-sensitive, tool for future Urban AI systems.

4.4 CNN-Based Predictive Models and Operational Resource Allocation

The inclusion of convolutional neural network (CNN)-based models follows reinforcement learning because both approaches address operational optimization, albeit at different stages of decision-making. While reinforcement learning focuses on real-time control and coordination, CNN-based models are commonly used for predictive optimization, particularly in forecasting spatial and temporal demand patterns.

In urban emergency services, CNN-based models have been applied to predict future emergency call volumes by transforming time-series data into spatial heatmaps that incorporate contextual variables such as weather, public events, and holidays (Rautenstraub et al., 2023). These predictions enable proactive ambulance positioning and resource allocation, improving system-wide

responsiveness before emergencies occur. In empirical evaluations using Seattle's 911 call data, CNN-based models outperformed traditional forecasting techniques by more than 9% in prediction accuracy.

From the perspective of Urban AI typologies, CNN-based forecasting represents a purely data-driven approach, relying on pattern recognition rather than explicit semantic representations of urban systems. Its contribution to operational optimization lies in improving anticipatory governance—allowing urban agencies to allocate resources more equitably and efficiently across space and time. When combined with downstream control systems, such as reinforcement learning-based dispatch or routing, predictive models become a critical component of integrated Urban AI ecosystems.

These academic models are presented here not as isolated technical achievements but as conceptual building blocks for future Urban AI deployments (Mostafavi & Mehan, 2024). Their focus on transportation and emergency response reflects the maturity of data availability and the high societal stakes of these domains, where optimization outcomes are measurable and governance implications are immediate. Together, reinforcement learning and CNN-based forecasting illustrate how Urban AI is evolving toward system-level, learning-based governance infrastructures that can balance efficiency, resilience, and

equity—provided that their objectives, constraints, and accountability mechanisms are carefully designed.

5. Conclusion

The three case studies examined in this article—Fremont's AI-enabled emergency vehicle preemption, New York City's AI-assisted subway maintenance, and Seattle's AI-driven green wave signal coordination—together demonstrate how Urban Artificial Intelligence is reshaping urban governance through incremental, operational interventions rather than large-scale infrastructural overhaul. Across these contexts, Urban AI functions less as a speculative future technology and more as a pragmatic governance tool embedded within existing institutional systems. Its transformative capacity lies in improving how cities respond to emergencies, maintain critical infrastructure, and manage mobility in ways that are visible, measurable, and socially consequential.

Taken together, these cases illustrate a continuum of Urban AI maturity, ranging from targeted software-based optimizations to more integrated, network-level coordination systems. Importantly, the benefits observed—reduced response times, improved safety, preventive maintenance, and system-wide efficiency—are not produced by technological sophistication alone. Rather, they emerge from specific design choices, including human-

in-the-loop decision-making, rule-based safety constraints, and anticipatory rather than reactive governance. These features ground claims of resilience and inclusiveness in concrete operational mechanisms rather than abstract aspirations. At the same time, the cases underscore that Urban AI does not inherently resolve questions of equity, transparency, or democratic legitimacy. As demonstrated throughout the paper, AI systems can just as easily reinforce existing governance logics if their objectives, constraints, and accountability structures remain unexamined. The findings therefore support a cautious but constructive position: Urban AI should be understood as a governance infrastructure, whose societal impact depends on how learning objectives are defined, how decisions remain interpretable, and how institutional responsibility is maintained. Rather than advancing dystopian or speculative claims, this article argues for a grounded approach to Urban AI, one that evaluates systems through their real-world performance, governance arrangements, and distributive effects. When aligned with clear public priorities, environmental responsibility, and participatory oversight, Urban AI can contribute meaningfully to safer, more resilient, and more equitable urban systems. Its promise lies not in replacing human judgment, but in augmenting urban decision-making in ways that remain accountable to

democratic values and the lived realities of city residents.

Acknowledgements

This research was developed within the Architectural Humanities and Urbanism Lab (AHU_Lab) at the Huckabee College of Architecture, Texas Tech University. The author gratefully acknowledges AHU_Lab as an intellectual and institutional platform supporting interdisciplinary research at the intersection of urban theory, infrastructure studies, artificial intelligence, and questions of equity and governance in contemporary cities. The Lab's emphasis on critical urban inquiry, experimental methodologies, and socially grounded technological research provided a supportive environment for the conceptual development of this work.

References

- Aggarwal, A. et al. (2021) 'A hybrid deep learning framework for urban air quality forecasting', *Journal of Cleaner Production*, 262, 121294. DOI: 10.1016/j.jclepro.2020.121294.
- Atlas of Urban Tech (2025) *Hangzhou City Brain*. Available at: <https://atlasofurbantech.org/cases/chn-hangzhou/> (Accessed August 2025).
- Batty, M. (2013). *The new science of cities*. MIT Press.
- Batty, M. (2021). *Inventing future cities*. MIT Press.
- Batty, M., Axhausen, K. W., Giannotti, F., Pozdnoukhov, A., Bazzani, A., Wachowicz, M., Ouzounis, G., & Portugali, Y. (2012). Smart cities of the future. *The European Physical Journal Special Topics*, 214, 481–518. <https://doi.org/10.1140/epjst/e2012-01703-3>
- Bellini, P., Benigni, M., Billero, R., Nesi, P., Rauch, N. and Nesi, P. (2015) 'Km4City Ontology Building vs Data Harvesting and Cleaning for Smart-city Services', *arXiv preprint*. Available at: <https://arxiv.org/abs/1508.01086> (Accessed August 2025).
- Bibri, S. E. (2021) 'Data-driven smart eco-cities of the future: state-of-the-art literature review', *Futures Research Quarterly*, 3, 100047. DOI: 10.1016/j.sftr.2021.100047.
- Bibri, S. E. et al. (2024) *Artificial intelligence of things for smart cities: advanced solutions for enhancing transportation safety*, *Computational Urban Science*, 4, article 10.
- Caprotti, F. (2024) 'Why does urban Artificial Intelligence (AI) matter for urban studies?', *Urban Geography*.
- City of Fremont (2022) 'City of Fremont Selects LYT Smart Traffic Solution for Faster and Safer Emergency Vehicle Transportation', *PR Newswire*, 22 February.
- Cities Today (2025) 'New York launches AI-driven track maintenance pilot', 4 March. Available at: <https://cities-today.com/new-york-launches-ai-driven-track-maintenance-pilot/> (Accessed August 2025).
- Crawford, K. (2021). *Atlas of AI: Power, politics, and the planetary costs of artificial intelligence*. Yale University Press.
- Firehouse (2024) 'LYT Announces Route Prediction Innovation', *Firehouse*, 21 October.
- Foth, M., Choi, J. H., & Satchell, C. (2011). Urban informatics. *Proceedings of the ACM 2011 Conference on Computer Supported Cooperative Work*, 1–8.
- Foth, M., Brynskov, M., & Ojala, T. (Eds.). (2015). *Citizen's right to the digital city*. Springer.
- Foth, M., Odendaal, N., & Hearn, G. (2019). The view from everywhere: Toward an epistemology for urban informatics. *Urban Studies*, 56(4), 769–786. <https://doi.org/10.1177/0042098018796938>
- Ghidalia, S., Labbani, O., Bertaux, A. and Nicolle, C. (2024) *Smart City Ontology Framework for Urban Data Integration, Preprints*. Available at: <https://www.preprints.org/manuscript/202410.2577/v1> (Accessed August 2025).
- GovTech (2022) 'Emergency Vehicles Take Priority in Bay Area Traffic Signal Upgrades', *GovTech*, 14 March.
- ITS International (2022) 'Lyt greenlights Fremont first responders', *ITS International*, 25 February. Available at: <https://www.itsinternational.com/its4/its5/its8/news/lyt-greenlights-fremont-first-responders> (Accessed August 2025).
- Kitchin, R. (2017). Thinking critically about and researching algorithms. *Information, Communication & Society*, 20(1), 14–29. <https://doi.org/10.1080/1369118X.2016.1154087>

Kitchin, R. (2019). The ethics of smart cities and urban science. *Philosophical Transactions of the Royal Society A*, 374(2083), 20160115.

<https://doi.org/10.1098/rsta.2016.0115>

LYT (2022) *LYT Deploys Next Generation Emergency Vehicle Preemption in Fremont, Calif.*, *LYT News*, 22 February. Available at: <https://lyt.ai/news/lyt-deploys-next-generation-emergency-vehicle-preemption-in-fremont-calif/> (Accessed August 2025).

LYT (2023) 'LYT.emergency - NextGen Emergency Vehicle Preemption (EVP)', *LYT Solutions*, (Accessed August 2025).

LYT (2024) *Fremont Fire Improves Response Time with LYT.emergency*, *LYT Customer Success Story*, 6 March. Available at: <https://lyt.ai/customer-success-stories/faster-fire-response-times-across-town-in-fremont-calif/> (Accessed August 2025).

Mehan, A. (2025a). Mapping resilience: Integrating Indigenous knowledge and systems thinking in sustainable urban education. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1554, 012142. DOI: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1554/1/012142>

Mehan, A. (2025b). Adaptive reuse as a catalyst for post-2030 urban sustainability: rethinking industrial heritage beyond the SDGs. *Discov Sustain* 6, 598. <https://doi.org/10.1007/s43621-025-01462-9>

Mehan, A. (2025c). Introduction: Navigating a Post-Oil Future. In: Mehan, A. (eds) *After Oil: A Comparative Analysis of Oil Heritage, Urban Transformations, and Resilience Paradigms*. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-92188-9_1

Mehan, A. (Ed.). (2025d). *After oil: A comparative analysis of oil heritage, urban transformations, and resilience paradigms*. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-031-92188-9>

Mehan, A. (2025e) "Reimagining post-industrial landscapes through the lens of sustainable development", *AGATHÓN | International Journal of Architecture, Art and Design*, 17, pp. 120-129. doi: 10.69143/2464-9309/1772025.

Mehan, A., Casey, Z.S. (2025). Climate Justice Through Design: A Shift in Paradigm Within the Gulf of Mexico. In: Mehan, A. (eds) *After Oil: A Comparative Analysis of Oil Heritage, Urban Transformations, and Resilience Paradigms*. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-92188-9_8

Mehan, A., & Mostafavi, S. (2025). *Decolonizing perspectives in mapping resilience and urban psychology*. In R. K. Beshara (Ed.), *Radical humanism: Decolonizing perspectives in critical psychology*. Routledge. <https://doi.org/10.4324/9781003565093>

Mehan, A., & Dominguez, N. (2024). Interdisciplinary Urban Interventions: Fostering Social Justice Through Collaborative Research-Led Design in Architectural Education. *Architecture*, 4(4), 1136-1156. <https://doi.org/10.3390/architecture4040059>

Mehan, A., Mostafavi, S. (2024). Emerging technologies in urban design pedagogy: augmented reality applications. *ARIN* 3, 29. <https://doi.org/10.1007/s44223-024-00067-y>

- Mehan, A. (2024a). Reimagining Industrial Legacy: Strategic Urban Adaptation for Climate Resilience in an Era of Radical Environmental Change. In: Calabrò, F., Madureira, L., Morabito, F.C., Piñeira Mantiñán, M.J. (eds) *Networks, Markets & People*. NMP 2024. Lecture Notes in Networks and Systems, vol 1188. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-74716-8_32
- Mehan, A. (2024b). *The Affective Agency of Public Space: Social Inclusion and Community Cohesion*. Berlin, Boston: De Gruyter. <https://doi.org/10.1515/9783111035642>
- Mehan, A. (2023a). Visualizing Change in Radical Cities and Power of Imagery in Urban Transformation. *Img Journal*, 4(8), 182–201. <https://doi.org/10.6092/issn.2724-2463/16093>
- Mehan, A. (2023b). Re-Narrating Radical Cities over Time and through Space: Imagining Urban Activism through Critical Pedagogical Practices. *Architecture*, 3(1), 92–103. <https://doi.org/10.3390/architecture3010006>
- Metro-Magazine (2025) 'NY MTA and Google partner for preventive track maintenance pilot', 28 February. Available at: <https://www.metro-magazine.com/10236731/n-y-mta-and-google-announce-preventive-track-maintenance-pilot> (Accessed August 2025).
- MTA & Google Public Sector (2025) *MTA and Google Public Sector announce Preventive Track Maintenance Pilot Program*, Press Release, 27 February. Available at: <https://www.mta.info/press-release/mta-and-google-public-sector-announce-preventive-track-maintenance-pilot-program> (Accessed August 2025).
- Morozov, E., & Bria, F. (2018). *Rethinking the smart city: Democratizing urban technology*. Rosa Luxemburg Stiftung.
- Mostafavi, S., Mehan, A., & Nejat, A. (2025). Integrating Emerging Design-Build Technologies for Resilient Housing in the Navajo Nation. *Urban Planning*, 10, Article 10157. <https://doi.org/10.17645/up.10157>
- Mostafavi, S., & Mehan, A. (2024). De-coding visual clichés and verbal biases: Hybrid intelligence and data justice. *Diffusions in architecture: Artificial intelligence and image generators*, 150–159.
- O'Neil, C. (2016). *Weapons of math destruction: How big data increases inequality and threatens democracy*. Crown Publishing Group.
- New York Post (2025) 'MTA wants to fix subway delays – with the help of Google Pixel smartphones', *New York Post*, 10 March. Available at: <https://nypost.com/2025/03/10/business/how-the-mta-could-use-google-pixel-smartphones-to-prevent-subway-delays/> (Accessed August 2025).
- Pasquale, F. (2015). *The black box society: The secret algorithms that control money and information*. Harvard University Press.
- Rautenstraß, M. & Schiffer, M. (2025) *Optimization-Augmented Machine Learning for Vehicle Operations in Emergency Medical Services*, arXiv preprint, 14 March.
- Railway-News (2025) 'MTA announces pilot programme for TrackInspect system', 4 March. Available at: <https://railway-news.com/mta-announces-pilot-programme-for-trackinspect-system/> (Accessed August 2025).

Shelton, T., Zook, M., & Wiig, A. (2015). The 'actually existing smart city'. *Cambridge Journal of Regions, Economy and Society*, 8(1), 13–25.

<https://doi.org/10.1093/cjres/rsu026>

SmartCitiesWorld (2023) 'Seattle deploys AI solutions for emergency response', *SmartCitiesWorld*, 13 July. Available at: <https://www.smartcitiesworld.net/ai-and-machine-learning/seattle-deploys-ai-solutions-for-emergency-response> (Accessed August 2025).

Statescoop (2025) 'The TrackInspect Pilot Is a Game-Changer for the MTA', *Statescoop*, 3 March.

Stübinger, J. and Schneider, L. (2020) 'Understanding Smart City—A Data-Driven Literature Review', *Sustainability*, 12(20), 8460. DOI:10.3390/su12208460.

Su, H. (2025) *Facilitating Emergency Vehicle Passage in Congested Urban Areas Using Multi-Agent Deep Reinforcement Learning*, *arXiv preprint*, 23 February.

Su, H. et al. (2023) 'EMVLight: A multi-agent reinforcement learning framework for an emergency vehicle decentralized routing and traffic signal control system', *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 146, 103955.

The U.S. Sun (2024) "'Lifesaving" AI cuts travel time by 32 mins for vehicles racing to crash scenes – and it's already 'widely used"', *The U.S. Sun*, 26 December. Available at: <https://www.the-sun.com/motors/13134325/traffic-ai-lyt-laramie-bowron/> (Accessed August 2025).

Variş Husar, S. C., Mehan, A., Husar, M., Ceylan-Çalışkan, R., Erkan-Öcek, R., Song, S., & Leemans, S. (2025). Permeability of Borders, Ideas and Spaces: Reimagining Europe's Spatial Futures from the Perspective of New Generation of Planners. *disP - The Planning Review*, 61(1), 24–40. <https://doi.org/10.1080/02513625.2025.2518856>

Variş Husar, S. C., Mehan, A., Erkan, R., Gall, T., Allkja, L., Husar, M., & Hendawy, M. (2023). What's next? Some priorities for young planning scholars to tackle tomorrow's complex challenges. *European Planning Studies*, 31(11), 2368–2384. <https://doi.org/10.1080/09654313.2023.2218417>

Wired (2023) 'Google's AI Is Making Traffic Lights More Efficient and Less Annoying', *Wired*, 10 October. Available at: <https://www.wired.com/story/googles-ai-traffic-lights-driving-annoying> (Accessed August 2025).

Wired (2025) 'The New York City Subway Is Using Google Pixels to Listen for Track Defects', *Wired*, 27 February. Available at: <https://www.wired.com/story/the-new-york-city-subway-is-using-google-pixels-to-sense-track-defects> (Accessed August 2025).

Wolniak, R. & Stecuła, K. (2024) 'Artificial Intelligence in Smart Cities—Applications, Barriers, and Future Directions: A Review', *Smart Cities*, 7(3), pp. 1346–1389. DOI:10.3390/smartcities7030057.

Zou, X., Yan, Y., Hao, X., Hu, Y., Wen, H., Liu, E., Zhang, J., Li, Y., Li, T. and Zheng, Y. (2024) 'Deep Learning for Cross-Domain Data Fusion in Urban Computing: Taxonomy, Advances, and Outlook', *arXiv preprint*. Available at: <https://arxiv.org/abs/2402.19348> (Accessed August 2025).

Zubaidi, S. L. et al. (2024) 'Forecasting urban water demand using different hybrid-based approaches', *Scientific Reports*, article 73002. DOI:10.1038/s41598-024-73002-w.

Data centers and the city. The territorial impacts of the growing data economy, with a focus on Italy.

Cristiana Mattioli

Dipartimento di Architettura e Studi Urbani,
Politecnico di Milano
cristiana.mattioli@polimi.it
orcid.org/0000-0002-6013-8138

Alice Franchina

Dipartimento di Architettura e Studi Urbani,
Politecnico di Milano
alice.franchina@polimi.it
orcid.org/0000-0002-4436-4629

Received: October 2025 / Accepted: December 2025 | © 2025 Author(s).
This article is published with Creative Commons license CC BY-SA 4.0
Firenze University Press.
DOI: 10.36253/contest-16787

keywords

data center
geographies
territorial impacts
regional planning
governance

1. Introduction

In the field of urbanism, the debate in recent decades has often revolved around the concept of the 'smart city' (Kunzmann, 2014; Zubizarreta et al., 2015), which is mainly characterised and described in terms of networks, flows, services and digital platforms, all concepts linked to immateriality. This type of narrative has very often left in the background a reflection on the physical impact of all the infrastructure necessary to make the smart city work, and also on the social and political implications of this new reality (Cournet, Sanaan Bensi, 2023). A similar phenomenon occurs in the development of artificial intelligence (AI).

While various aspects of AI for and in urban planning are explored, ranging from its practical applications to the ethical considerations required for responsible deployment (Wang, Yorke-Smith, 2025), the territorial impact of these technologies is often overlooked.

The present study aims to examine the multiple impacts of the rapidly expanding digital economy

The present paper focuses on the study of the multiple impacts that the digital economy, which is expanding rapidly today, has and may have in the future on territories, with a particular focus on the Italian context and on the implementation of Data Centers (DCs), a facilities used for the remote storage, processing, or distribution of large amounts of data.

In this context, there is a pressing need for in-depth research and multifaceted discourse on the urban and regional challenges

of DCs location to enhance public knowledge and informed decision-making processes. This encompasses both the physical impact on territories and the implications for urban governance and socioeconomic aspects. This issue is of particular urgency in Italy. As the country emerges as a significant player in the European DC landscape, the absence of clear regulations gives rise to questions concerning the territorial and strategic planning of these infrastructures.

on territories focusing on the implementation of Data Centers (DCs), facilities that houses an IT infrastructure for the creation, execution, storage, and delivery of data, applications and services.

The phenomenon has emerged recently in Italy and is expanding rapidly, which has significant implications for urban and territorial planning. However, difficulties in identifying and quantifying the impacts and benefits of DCs are revealed when confronted with public bodies involved in the development of these infrastructures. Thus, it is imperative to spatialise this phenomenon and facilitate more informed decision-making processes. To this end, we have launched a research project entitled 'ProdAction. The New Territories of Data Centers'¹ with the aim to enhance public comprehension of the challenges posed by

DCs. The project has a geographical focus on the Milan metropolitan area (Italy) and is organised around three distinct operations. At the local level, the first step is to map existing and planned data centres. This is achieved by analysing urban planning documents and environmental approvals, as well as industry reports and press articles. Furthermore, a series of workshops and interviews were organised in order to gather direct information and facilitate dialogue between the various stakeholders involved (public bodies, designers, operators). The objective of these activities is to provide policy makers with some planning recommendations to inform the public and political debate about new, more stringent regulations at regional and national levels. At the same time, an interdisciplinary literature review on the topic and case studies analysis has been initiated to identify critical issues and potential areas for improvement. This paper makes a significant contribution to disciplinary reflections by proposing a more comprehensive territorial view informed by the urban planning discipline that is generally lacking in the present literature about DCs. Furthermore, it integrates this approach with some direct observations conducted in the area around the city of Milan.

The structure of the text is divided into five sections. The opening paragraph introduces the notion of DCs, highlighting their diverse geographical distribution and localisation

factors, categorised according to infrastructure typologies. The second section provides insights into the European and Italian contexts, with a discussion of different case studies and original data collected on the ground. The third part of the article discusses a variety of challenges and opportunities connected with DCs realisation and reported in the literature over the last ten years; they are divided into three major categories: environmental, planning and architectural, and social ones. The fourth paragraph reflects on the relevance of this issue within the domain of territorial planning disciplines, while the final part of the text offers a series of concluding remarks and identifies potential areas for further exploration.

2. Data Center: infrastructures and geographies on the edge between digital and physical

Data Centers are the warehouses and factories of the internet age (Atkins, 2021). They are defined as spaces, either within a building or a building itself, used for the installation and maintenance of computer systems and associated components, including telecommunications and storage systems. They incorporate redundant and backup components, including fuel generators, infrastructure for power supply, data communication connections, environmental controls for server cooling and fire prevention,

and various security elements. They can also host offices and meeting rooms, according to their dimensions.

DCs thus plays a pivotal role in ensuring the operation of any information system, functioning as a critical component in maintaining continuous service that support business activities.

DataCenterMap – the first map of this nature to be made available on a global scale for market purposes – currently reports 10,846 DCs, from 170 countries worldwide.

DCs can vary widely and can be categorised in different ways in terms of typology of users and data, size, power requirements, redundancy, and overall structure.

The following categories based on the owner and the type of data are commonly identified by sectorial publications (Hwaiyu Geng, 2015):

- Enterprise DCs, owned by a single organisation (private or public), custom built on the organisation's need and processes, sometimes on the same site of the owner;
- Multi-Tenant or Colocation DCs, which offer spaces and services for data storage and processing to other businesses;
- Hyperscale DCs, designed to support very large-scale IT infrastructure and digital services. These facilities are characterised by their considerable size and high energy consumption. These have been spreading more recently and are usually built by internet 'giants';

- Edge/Micro DCs represent the latest technological developments, responding to the expansion of the Internet of Things (IoT) and the need for analytics and automation (robots, autonomous vehicles, smart grids, etc.). They are characterised by their compact size and proximity to end-users, a feature that facilitates efficient utilisation of resources and reduces energy expenditure.

It is evident that, due to their distinct characteristics, DCs unveil diverse location strategies. Diguët and Lopez (2019) state that flows concentrate in metropolitan areas to minimise the costs associated with optical fibre, whereas storage geographically decentralises into 'operational landscapes' (Brenner, Katsikis, 2020) for lower land and energy costs.

Indeed, colocation DCs are typically based in metropolitan areas (Greenstein, Pan Fang, 2020), where advanced telecommunications infrastructure, such as internet backbones and exchange points², absence of seismic risks, fertile economic environment can be found. The central location of these facilities is also linked to the necessity to minimise 'latency', namely the delay before a transfer of data begins following an instruction for its transfer. This aspect is of particular importance for specific applications, such as financial trade. For other usages, DCs do not necessarily need to be in close proximity to their users.

Given their dimensions, hyperscale DCs, which have recently undergone significant centralisation and enhancement, are likely to be situated in suburban and rural regions, as well as in provincial towns. The ideal location for such big facilities is industrial and logistic peripheral areas, which offer large areas, often abandoned or underused, a large amount of electrical power, and good digital connectivity. In the US it is reported that they have reclaimed abandoned areas, such as decommissioned airbases, abandoned nuclear bunkers or shuttered manufacturing plants, (re)defining regional economic imaginaries (Atkins, 2021). However, due to their monofunctional and introverted nature, they produce very large plots of impenetrable land, often ultra-protected by defensive fences. This has the effect of hindering, rather than improving, the degree of urbanity of the context, contributing to its fragmentation (Diguët and Lopez, 2019). However, it is important to highlight that, in general terms, DCs exhibit distinct and specific localisation criteria. In addition to the previously discussed aspects of infrastructural connection, energy provision and costs, these facilities are often situated in low-risk areas with regard to natural disasters (e.g. earthquakes, floods, fires, etc.) and critical or dangerous facilities. Even if accessible, these facilities are often located far from infrastructural nodes and systems, such as highways and railways (Gazzola et al., 2023).

European geographies of Data Centers: the FLAP-D area and the emerging markets.

Source: author's own elaboration

Fig. 1

A further element that has been documented principally in cases from the US is the proximity to the hydrographic network, which facilitates the utilisation of water for cooling purposes. Likewise, contexts with appropriate levels of humidity and temperature can reduce the use of expansive mechanical and electrical cooling systems. The presence of DCs in uncommon locations, such as undersea levels or within mining sites, is becoming increasingly tested.

3. The European framework and Italy as an emerging market

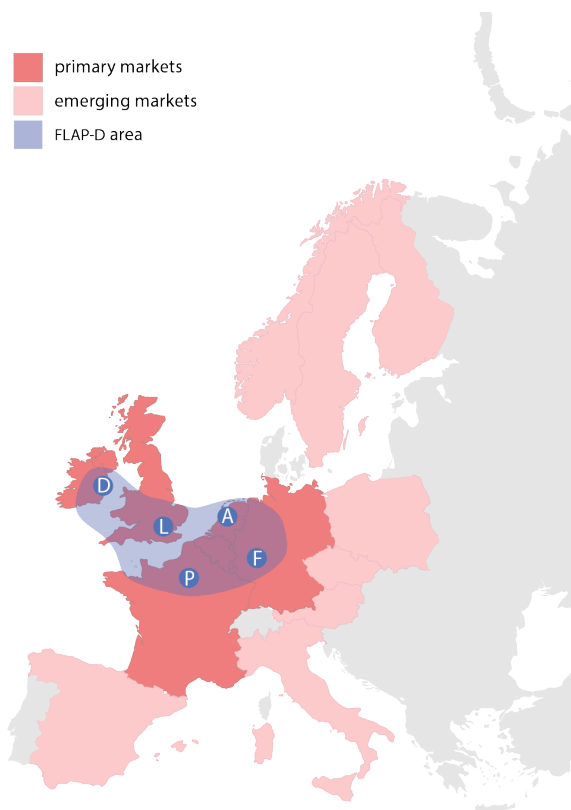
In Europe, the primary DCs scenario developed within the last 20 years around the 'FLAP-D' zone, which comprises the metropolitan areas of the cities of Frankfurt (Germany), London (United Kingdom), Amsterdam (The Netherlands), Paris (France), and Dublin (Ireland). Indeed, the internet network reinforced existing urban hierarchies, the cables being jointed in metropolitan, global cities (Diguët, Lopez, 2019). It is therefore not surprising that the majority of the European literature on this subject focuses on these cities, which experienced the phenomenon before other territories and have already exhibited criticalities, particularly related to energy network efficiency and stability.

After some recent growth reductions, due also to more restrictive legislations, new markets are emerging, including Scandinavian countries for climate reasons, Poland, Spain and Italy in

the Southern Europe (CBRE, 2025). Among these, Italy demonstrates certain strengths, including its significant economic sector, its geographical position in the Mediterranean region, and the stability and reliability of its electric infrastructure.

The current absence of official data on the number of DCs hosted in Italy poses a significant challenge in determining the extent of this phenomenon. The estimation derived from diverse sources can exhibit significant variation, attributable to the different methodologies employed. The Italian Osservatorio Data Center of the School of Management at Politecnico di Milano has indicated 202 facilities (2026), whereas in 2025 the TEHA Group for A2A company counted 168. In addition, DataCenterMap states in 2026 that Italy is home to 209 data centres, including also those that are planned and under construction. The actual number then ranges between 170-200 DCs.

It is important to acknowledge that, despite the existence of data concerning the nominal power of DCs (Osservatorio DC reports in 2026 609 MW at national level), there is an absence of official statistics regarding their actual electricity consumption. Terna, the Italian transmission system operator, does not collect or publish data on electricity consumption by DC and private operators generally state that actual consumption is lower than nominal power. Recent estimates by energy providers



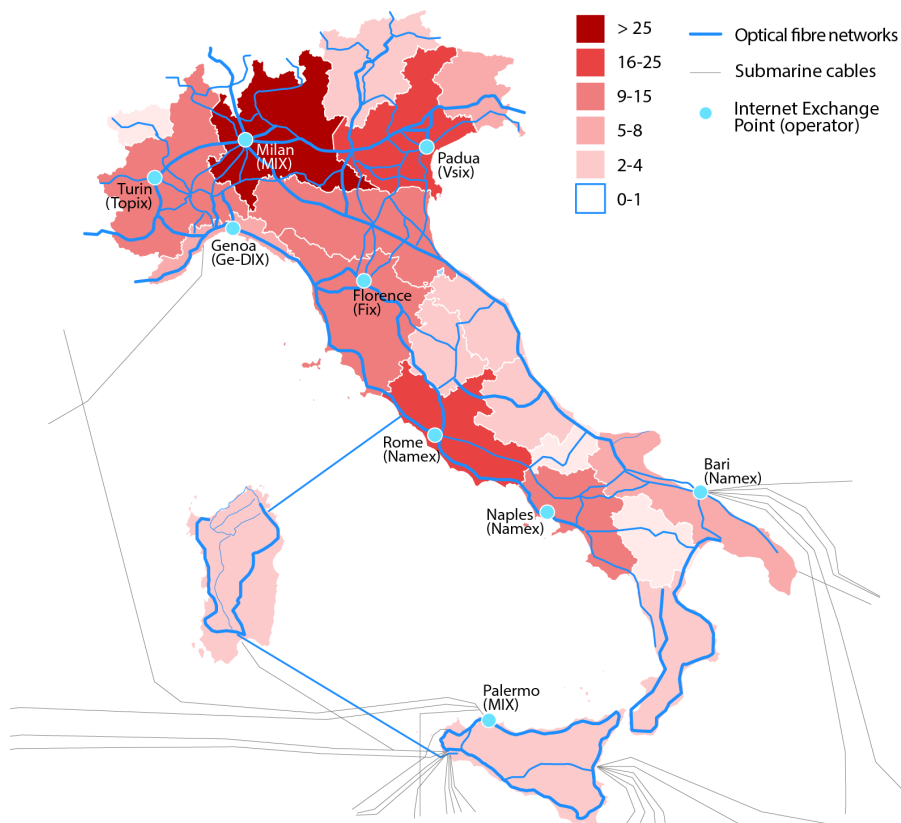
indicate that current national consumption by DCs is approximately 570 MW_{IT}, corresponding to about 3.5 to 5.8 TWh annually. This account for approximately 2% of total national electricity demand³, a contribution that is predicted to rise between 7% and 13% by 2035 (A2A S.p.a., TEHA Group S.p.a., 2025).

The primary centralities are Milan and Rome. The metropolitan area of Milan and, more generally, the Lombardy region are experiencing an exponential growth of these infrastructures. As of December 2025, the Lombardy region hosts around 50 facilities. It significantly surpasses the number of Data Centers in the neighbouring regions of Northern Italy. The metropolitan city of Milan, which comprises 133 municipalities and a population of about 3 million spread over an area of 1,575 square

kilometres, currently hosts 33 DCs, within 32 municipalities. Osservatorio DC (2026) reports that Milan area gathers 414 MW, representing 68% of the whole national capacity.

In order to comprehend the magnitude of the development of the sector, it is useful to consider some data offered by the Osservatorio Data Center (2026), a research institute of the Politecnico di Milano dedicated to this field, which collects data directly from the operators. It is estimated that € 7,5 billion has already been invested in the establishment and activation of Data Centers in Italy during the years 2023 and 2025.

The three-year period 2026-2028 promises to be rich and dynamic with a potential value of around 25 billion. Furthermore, looking at 110



Existing and planned data centers (until 2028) in Italy, classified by region, alongside other digital infrastructures

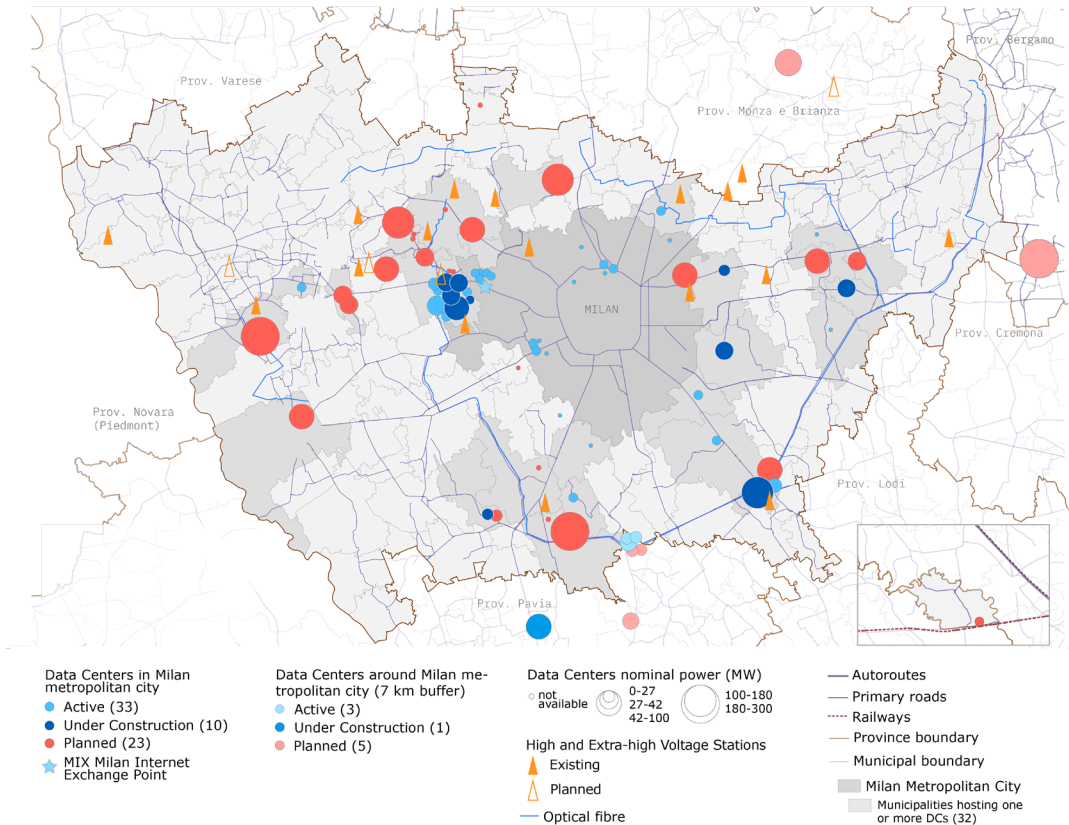
Source: author's own elaboration on data from datacentermap.com for the number of data centers by region; bbmaps.itu.int for optical fibre networks and submarine cables; and MIMIT (2025) for internet exchange point location

Fig. 2

billion potential investments in DCs across Europe, 23% of them would be concentrated in the Milan area.

This will result in the realisation of many new buildings. According to our research, in the metropolitan area of Milan, a total of 33 new DCs have been announced, of which 10 are currently under construction. According to the data declared in official procedures, these new Data Centers have an 'average size' at least three times larger and four-to-five times more powerful than the existing

ones. This phenomenon can be attributed to the spatial effects of the increasing development of two types of DCs: the Campus DCs, defined as large clusters of DCs; and the high-power DCs, characterised by a nominal IT energy power that exceeds 10 MW and necessitate connection to high-voltage infrastructure. The majority of this second category, approximately 70%, are situated in the vicinity of Milan, thereby giving rise to significant concerns related to energy provision (Osservatorio DC, 2025).



Data centers in the Milan metropolitan area.

Source: author's own elaboration on primary data regarding the location and nominal power of DCs; Città metropolitana di Milano for the optical fibre network; OpenStreetMap for electrical stations.

Fig. 3

In the metropolitan area of Milan, Data Centers are mainly located in small and medium-sized municipalities around the capital city, where emerging concentrations are observed. To illustrate this point, it can be useful to consider the municipality of Settimo Milanese – a population of 20,000 inhabiting an area of 10 sq.km. in the Western part of Milan – which was the first to host such facilities in 2013. The site currently houses five different operators, including Big Tech companies, managing approximately nine distinct DCs, which occupy a former telecommunications

compound spanning approximately 40 hectares. A concentration in the north-west of the metropolitan area is indeed observed, primarily due to the presence of numerous high-voltage electrical stations and the location of the Milan Internet Exchange Point (MIX). The MIX is one of the largest Internet Exchange Points (IXPs) in Italy and Southern Europe, where a multitude of networks – including internet providers, major websites, and cloud companies – connect their cables and exchange data directly with each other.

The territorial concentration of DCs raises significant concerns, not least with regard to the strong pressure on the local energy system and the unsustainable model of development, but also with respect to the accumulated – and often underestimated – environmental impacts they engender at a local level.

4. Territorial impacts of Data Centers: a literature review

The existing overall situation, as briefly described above, gives rise to complex and inadequately regulated new landscapes in Italy and other European countries.

These issues are beginning to be examined and discussed by professionals and scholars in different relevant fields. However, to date, the approach to DCs has been sectorial, being confined for a long time to engineering and computer science, with a particular attention to new technologies. Conversely, social sciences have scarcely explored the broader socio-territorial dimensions of DCs. A growing body of literature has addressed the political characteristics and impacts of new forms of capitalism. These include the emergence of the concept of platform capitalism (Srnicsek, 2017), which highlights the centrality of data in the digital platform economy (Xue et al. 2020), and the intertwined processes of value extraction, finance, and logistics that considers land as a primary asset (Mezzadra, Nielsen, 2019). In this context, digital platforms have been compared

to traditional infrastructures, such as railways, as they are now essential facilities that are also managed in a similar monopolistic way (Carr et al., 2022). In fact, the incredible rise of the platform economy has been accompanied by the rapid development of large digital companies that provide essential, everyday services and that effectively act as key actors in shaping development processes (Barns 2020; Mahmoudi et al., 2020; Carr, Hesse, 2022), through top-down and mostly opaque processes.

In more recent times, some geographers began to focus on the materiality of digital infrastructures, seeking to uncover the physical foundations of the ‘cloud’ (Amoore, 2018; Pickren, 2018), as well as their relationships with territorial context (Furlong, 2021; Turnbull et al., 2023). Nevertheless, there is a scarcity of studies that adopt an explicitly urban planning approach, investigating environmental impacts within the framework of territorial administrative dynamics and long-term territorial governance policies (Diguët et al., 2024; Bast et al., 2022; Carr et al., 2022; Monstadt, Saltzman, 2025).

The present study aims to address this gap by integrating insights from multiple academic disciplines and relating them to the territorial dimension, with a specific focus on how the growing body of scientific evidence on DCs’ impacts can be mobilised to inform and improve spatial planning regulations.

In consideration of the recentness of the topic, and the rapid advancements occurring within the digital and technological sector, a review of literature published, and regulations discussed in the last ten years has been undertaken. A range of territorial challenges have been identified:

- the environmental issues, which are principally associated with the utilisation of electric energy;
- water consumption, emissions and air pollution, urban heat islands and waste heat reuse, noise, technological waste, ecological networks and biodiversity detriment;
- the geographical and planning ones, pertaining mainly to localisation, land consumption, the reuse of brownfields and heat, as well as reflections about the impact of private operators on regional and local governance systems;
- architecture-related aspects, such as neglected design, lack of relationship with the landscape, short obsolescence of technological systems and buildings;
- a number of additional issues are addressed, encompassing a variety of domains, including the labour market, the effects on real estate, and the health impacts for workers and local citizens, amongst others.

It is important to acknowledge that a significant body of literature originates from and is associated with the US context, which differs considerably from the European context,

particularly with regard to the extent of the phenomenon of DC's presence and diffusion. Nevertheless, this allows us to examine certain forms of effects and impacts that might be considered 'extreme', and that may therefore highlight critical points to be taken into consideration for the future development of the DC sector in Europe and Italy.

4.1 Environmental impacts

A substantial body of recent literature has drawn attention to several issues associated with the environmental impact of DCs. Our review reveals three principal issues, namely electricity consumption, water consumption and emissions (Siddik et al., 2021).

The primary issue is indisputably the most significant in terms of scientific evidence and field studies: it is estimated that Data Centers currently consume between 1% and 3% of global electricity (International Energy Agency, 2025). According to the EU, in 2018 they accounted for 2.7% of electricity demand in the EU-28 (Directive 2023/1791), with forecasts of an increase due to the announced advent of AI. It is evident that, regardless of the calculation models and growth scenarios considered – which are sensitive to behavioural usage trends and technological advancements –, a rise in energy consumption by 2030 is inevitable. This increase is projected to range from approximately 300TWh to 900TWh (Koot, Wijnhoven, 2021) or even up to 1.600TWh by

2035 (A2A S.p.a., TEHA Group S.p.a., 2025). Despite the fact that new hyperscale DCs are subjected to more stringent environmental standards and demonstrate greater efficiency in terms of energy consumption, due to economies of scale and standardisation, high electric energy consumption remains a 'key theme' in the reduction of emissions due to fossil fuels and the planning of the capacity of national grids, with possible emerging processes of competition between urban uses (Thangam et al., 2024). In recent years, indeed, the capacity of national electric networks has been a subject of considerable debate due to the unprecedented increase in investment in the DC sector. In the opinion of stakeholders (CBRE, 2024), the availability of electric power is the primary factor influencing the growth of DCs on a global scale. In Italy, Terna (2025), the company that manages the national electric grid, has defined DCs as 'a challenge' for planning new investments for the modernisation of the network. Secondly, the increase in electric energy usage poses the issue of the sources. Ireland is a 'borderline case' that highlights great potential problems. In a context of 22% of national electrical energy being consumed by DCs in 2023, it has been demonstrated (Daly, 2024) that between 2016 and 2022 production from renewable sources did not increase, even if DCs bought green energy which is predominantly produced from wind. The total amount of fossil-

fuel energy consumed in Ireland remained unchanged, thus jeopardising the State's commitment to reduce carbon emissions by 2030. At this juncture, there is no evidence to suggest that DCs have functioned as a catalyst for augmenting energy production from renewable sources (Bashroush et al., 2020). However, a review of international case studies reveals that several European countries have implemented restrictions on new DCs with regard to plant efficiency and obligations on energy production from other renewable sources (France, Germany, the Netherlands, Ireland), as required by the EU Energy Efficiency Directive (not yet transposed by Italy). In Germany, for instance, the 'Energy Efficiency Act' (2023) now permits a PUE (Power Usage Effectiveness, which is calculated as a ratio of the total energy consumed by the entire facility to the energy used by the actual IT equipment) between 1.5 and 1.3, which will shift to 1.2 for new DCs constructed from 2026. In addition, DCs are obligated to utilise 50% renewable energy from 2024, increasing to 100% from 2027. In Ireland, a recent proposal of the 'National Commission for Regulation of Utilities' (2025) suggests the production and storage of energy to DCs. In the United States, prominent companies such as Microsoft and Facebook have already initiated micro-grid programmes. This suggests a commitment to energy autonomy but also poses questions regarding the ownership of energy.

Issues pertaining to water and emissions are less extensively explored in the extant literature, yet they are no less impactful. It is particularly evident that DCs constructed 20-15 years ago typically utilise water in significant quantities for cooling equipment, whereas the most recent ones often adopt alternative solutions. In addition to direct consumption, DCs can also utilise water for the production of electricity, as observed at the Aruba Campus in the province of Bergamo, Italy. Mytton (2021) estimated that the daily water consumption in the US is approximately 1.7 million litres. Despite constituting a mere 0.13% of total water consumption, he highlights the high concentration of withdrawals in specific regions, along with the fact that 57% of this is drinking water. This has resulted in significant challenges across large parts of the country, particularly in areas most affected by drought, where land prices are low and attract DCs. In Italy, the issue has received limited scholarly attention, largely because the most recent DCs generally use less or no water, as they have liquid cooling or water recirculation systems. In the US, some DCs have also begun to utilise greywater for cooling purposes. In any event, the fact that legislation adopts a specific indicator (WUE – water use effectiveness) and that some of the ‘big Tech’ companies, such as Microsoft and Digital Realty, are working on innovative solutions for reducing their water consumption demonstrates the persisting urgency of the issue.

A substantial body of research has been

dedicated to the study of CO² emissions (Ewim et al., 2023). Direct emissions comprise greenhouse gases and pollutants resulting from the operation of DCs. Literature identifies diverse sources, but the most problematic one is related to the presence of a big number of diesel-fuelled back-up generators. Consequently, the subjection of DCs to Environmental Impact Assessment (EIA) is currently only due to the presence of these elements. Despite their rarer utilisation for emergency situations, these devices must undergo monthly testing, thus emitting damaging quantities of NO_x (nitrogen oxides) (Nelson, 2022). Furthermore, DCs are equipped with fuel tanks, which pose a significant risk in the event of a leak or explosion. The question of depolluting sites after use is also likely to be raised in future (Diguet, Lopez, 2019).

It is evident that public awareness of the environmental impacts of DCs has increased in recent years, and this has also become a significant driver of social protest. A limited but growing body of research has begun to document this phenomenon in the United States (Ngata et al., 2025). For instance, certain studies have examined community mobilisations such as the Dobson Noise Coalition, which has focused on the health impacts of DC-related pollution in the city of Chandler, Arizona (Monseratte, 2022). In recent times, communities in Memphis, Tennessee, have organised themselves in opposition to

the data centre of X company. They argue that the facility poses a threat to local energy and water systems in an area already designated as a 'sacrifice zone' (Koller, 2025). This concept (Juskus, 2023) in its broadest definition delineates an area "systematically impacted, socio-economically and ecologically, by the negative effects of resource extraction or transformation, while the benefits of these activities largely accrue elsewhere" (Pellizzoni, 2025, translated by the authors); it may therefore provide a useful analytical lens for examining marginal territories hosting clusters of DCs, and disproportionately bearing their impacts. In a similar way, Johnson (2019) suggests that the distribution of such infrastructures highlights possible digital inequalities between 'serving' and 'served' territories. He highlights the fact that good digital connectivity can coexist with marginality when places are exploited for their resources.

To overcome or limit the environmental issues, a number of studies and regulations have explored and proposed guidelines related to the concept of 'green DCs', addressing technical innovations, such as the use or production of renewable energy and the utilisation of liquids for cooling systems, thereby enhancing the efficiency of buildings (Manganelli et al., 2021; Liang et al., 2024).

The European Commission has assumed responsibility for the subject in 2008, when *The Code of Conduct on Data Centres* was published.

It is intended to encourage the operators and stakeholders of DCs economy to implement good practices with a view to reduce their environmental and economic impact.

Moreover, reflections on 'urban metabolism' and the transformation of DCs into opportunities for the cities have been initiated and innovative solutions have been tested in certain contexts (Huang et al., 2020). A noteworthy subject is the reuse of heat generated by DCs that can be recycled through low and ultra-low district heating networks in surrounding urban areas for residential or industrial purposes. This approach has the potential to reduce local heat islands – an effect that is absent in the literature, but that is common to similar urban areas, such as the industrial and commercial ones – and the overall energy consumption of cities, thereby contributing to adaptation to climate change. Despite the emergence of numerous regulations in European countries on the topic – in Germany a minimum share of 20% of waste heat is required from 2028 – and some Italian⁴ (AZA S.p.a., TEHA Group S.p.a., 2025) and Dutch initiatives that call for the reuse of heat, limitations can arise and must be considered (Monstadt, Saltzman, 2025). Firstly, it is an essential prerequisite that a district heating network is already in place, and the energy company participate in the governance process. Eventually, it is possible to envisage the possibility of reusing the heat

in the future, waiting for the realisation of the network, which, however, can take some years and may be far away from DCs. Secondly, the waste heat from DCs has a relatively low temperature for district heating, necessitating an increase to approximately 85 °C, with additional electricity use. Consequently, some scholars have proposed the construction of 'Organic Data Centers', which entail the integration of a DC and a greenhouse, situated in proximity (Karnama et al., 2019).

4.2 Geographical, planning and architectural issues

There are other aspects emerging from the literature that merit attention and in-depth research, particularly in the field of spatial studies: neglected architecture with no dialogue with the surrounding context; technical planning issue related to zoning and tax revenues; land consumption for DCs built on greenfield instead of brownfield; fast obsolescence.

More in general, as stated by Diguët and Lopez (2019, p. 7), "questions on the urban integration and architectural potentialities of these objects have been little analyzed, even underestimated, in the same way as a more eco-systemic reflection that would make it possible to better insert data centers into local energy systems". In their study on the US and Ile-de-France area, the two scholars present numerous case studies of DC's interactions with the environment in which they are

embedded, in their architectural and urban dimensions, in relation to energy, economic and governance issues.

From an architectural perspective, the 'shoebox' model is discussed, whereby the physical container does not visually indicate the strategic significance of the content, thus contributing to discretion and security. As demonstrated by the presentation of US cases, including that of Facebook, a variety of possibilities emerge for the integration of offices, meeting rooms, and other services (e.g., gym, restaurant) within DCs, both in inner cities and on outskirts. In Italy, the Aruba Campus is a notable example of a corporate initiative that has also resulted in the construction of an auditorium.

With regard to the issue of land consumption, in the work by Diguët and Lopez (2019) reference is made to a shared concern relating to the design of parking lots. Also in Milan, a significant number of operators reported to having requested a reduction in urban standard services, attributable to the limited number of employees. Actually, these areas can be used more effectively for outdoor space and planted surfaces, with the aim to reduce heat island effect and integrate the DC into the landscape.

In addition to parking lots, the more general conversion of agricultural areas into DCs has also resulted in significant land consumption. Despite the prevalence of interventions

developed on brownfield sites, this issue persists and is anticipated to worsen in the absence of adequate legislative measures.

The increasing prevalence of Campus and Hyperscale Data Centers necessitates the utilisation of substantial spatial dimensions, which are not easily available in vacant areas, considering also the requisites associated with the location of these facilities, a topic that has been previously explored. The absence of studies on this issue in the literature is striking, particularly in the context of the United States. However, some Italian scholars have begun to identify potential risks to soil integrity and the irrelevance of environmental guidelines (Pileri, 2025). In order to overcome this deficit, our research in the metropolitan area of Milan is collecting data about DCs dimensions and land consumption. A consideration of the total number of DCs under construction or planned reveals that 39% of these are or will be located in greenfield sites, but they are covering 54% of the total land occupied by DCs, while the remaining interventions are situated in former industrial areas (46% of the total surface).

The Italian Institute for Environmental Protection (ISPRA) has cited DCs as a contributing factor to land consumption for the first time in its 2025 Annual Report (SNPA, 2025). Despite their limited impact in comparison to that of logistics, new DCs accounted for 37 hectares of land loss in 2024 alone (with the majority of interventions occurring in the Lombardy region), and it is

anticipated that this figure will increase steadily through to 2030.

Two ancillary reflections are then worthy of mention. Firstly, due to the uncertainty surrounding technological development, particularly with regard to AI, there is a risk of overestimating the size of these facilities. This could result in the creation of DCs that will not be utilised to their full capacity or will house 'comatose' servers that persist in consuming electricity and other resources without performing any useful work (Herrlin, 2024). It is evident that speculation phenomena have already manifested in the area of study, coinciding also with an exponential demand for electric connection⁵. Secondly, Data Centers are not isolated entities. The buildings are linked to existing infrastructures, particularly energy and telecommunication networks. The necessary cable systems, financed and constructed by the operators, connect the DCs to the nearest electric substation. These can be extensive in size, having a significant impact on numerous municipalities and resulting in additional land consumption.

About the issue of obsolescence, there is a lack of consensus regarding estimations. According to research undertaken by International Data Corporation (IDC), the average age of the equipment installed in a DC is 9 years. Gartner, another research company, has stated that DCs which have been in existence for a period of more than seven years are outdated. Undeniably,

the escalating volume of data is a key factor driving the imperative for Data Centers to modernise. The theme pertains to 'legacy' DCs that are already in need of refurbishment and is intrinsically linked to the pressing issue of digital waste, which is expected to occur within the next 15-20 years, as well as to (present and future) demands for realisation of new DCs, replacing the older ones.

The extant literature does not address the topic of building obsolescence or decommissioning (even if a specific plan is required by the Italian Ministry for the Environment and Energy Security), and examples of DCs reuse are not available at the present time. However, situations of rapid abandonment in Canada have been shown to engender a risk of producing 'digital ruins' due to rapidly changing corporate strategies, markets, politics, and technological obsolescence (Brodie, Velkova, 2021). In certain instances, these phenomena manifest as abandoned infrastructure. At other times, they may assume the form of incomplete assemblages, as described by Burrell (2020), or as projects that never gained traction for construction, as posited by Carse and Kneas (2019).

4.3 Social impacts

The potential for job creation and local economic revitalisation, frequently emphasised in public discourses concerning the realisation of Data Centers, remains ambiguous. DCs generate a

limited number of employment opportunities, and the sector is constantly stressed about its future. On the one hand, there is a shortage of technical-skilled workers; on the other hand, automation will be able to replace many employees at all levels (Mayer, Velkova, 2023). Consequently, even if employment opportunities are abundant and esteemed, they are often accompanied by a concomitant element of insecurity. With regard to the nature of the work, it is important to note that the majority of DC workers are male and white. The nature of the task is such that it is repetitive in nature and has been classified as 'stand-by' (Taylor, 2021) in the sense that workers are required to engage in constant monitoring, yet the necessity for intervention is minimal. It is imperative that they be prepared to be available. The general effect is that of an empty space, where workers feel lonely and isolated.

Jones et al. (2013, p. 111) reported that the construction of a DC can generate a significant economic benefit to the local economy during the construction phase. They stated that "a 20,000 square metre Data Center might typically generate 100 permanent jobs, with 50% being directly involved in management and operation of the Data Center facility and the other 50% being in ancillary support jobs". Ongoing maintenance and operations roles, albeit limited in number, necessitate specialised competencies, thus creating opportunities for

highly trained professionals. Furthermore, once localised, DCs offer the possibility of financing local training and vocational activities in the field of digital economy, as well as social and recreational events.

Despite the scarcity of direct employment opportunities, public discourses state that DCs may also assume a pivotal function in the retention and support of existing companies, in addition to the attraction of new economic activities. Whilst the impact on local and regional businesses appears to be marginal, the presence of DCs can stimulate the digital market on a national scale, thereby catalysing substantial investments. As stated in the A2A report (2025), the Italian data economy, which is associated with the growth of digital data, already accounted for 2.8% of the national GDP (€60.6 billion) in 2024. It is anticipated that this sector will continue to expand in subsequent years, facilitated by the strategic presence of DCs within the national territory. Furthermore, it has been argued that DCs' development in Italy has the potential to contribute up to 6% per year to GDP growth, with the creation of 77,000 jobs by 2035.

Contrasting with these considerations limited to macro socioeconomic opportunities, the work of Libertson, Velkova and Palm (2021) on Sweden proposed to insert DCs development within a notion of 'energy gentrification', highlighting obstacles and possible conflicts in the local use of electric energy. They reported

that big tech DCs have been attracted to Sweden due to the favourable conditions, which include low costs of (renewable) energy. However, these companies have also created problems due to a lack of grid capacity in some regions, with the result that several local industrial facilities and infrastructural projects have been put on hold. Furthermore, "in its most extreme form, energy gentrification can also affect the energy supply of proximate municipalities and other communities" (*ibidem*, p. 157). The authors thus questioned the prioritisation of energy demands and underlined the underestimation of DCs impacts in energy and spatial planning. These processes unveil unequal power relations and demonstrate a global interest (DCs) that overrules the local economy, marginalising some actors from decision-making. As will be discussed in the following section, these issues are not confined to energy; territorial planning is also implicated.

5. Data Centers and the territory: a relevant issue

As demonstrated in the existing literature and also revealed by the primary data collected within the 'ProdAction' research project and related to the metropolitan area of Milan, challenges related to the development of Data Centers are manifold and strongly interconnected. Consequently, small local municipalities, such as those operating within

the metropolitan area surrounding Milan, encounter challenges in addressing these issues due to a general scarcity of the requisite technical and sectorial preparation, expertise, and human resources.

Furthermore, due to their considerable energy demands and dimensions, DCs represent a significant source of revenue for energy grids and regional economies, as well as local tax income. Consequently, several governments have offered incentives to attract them, including economic concessions and infrastructural accommodations (Brodie, Velkova, 2021). In the context of the prevailing scarcity of public resources at the local level, it is challenging to decline the opportunity presented by developers and operators with substantial financial resources. These private actors frequently possess the capacity to revitalise an abandoned area that has been left unused for decades, or to provide significant compensations, whether environmental or social character.

It is thus evident that a distinctly asymmetrical dynamic is established with operators on both a technical and a negotiating level. Consequently, private actors assume a dominant role in the development of DCs, both with regard to the selection of site locations and the formulation of technical and contractual proposals.

Present challenges are not only due to the recent emergence of DCs, but also to a general lack of transparency in the field, due to its secrecy,

that make difficult to accurately determining the location, size, energy consumption and water usage of DCs (Carr et al. 2022; Monstadt, Saltzman, 2025). This issue has been recently addressed by the EU Directive 2023/1791, which imposes data reporting obligations to DCs operators on the Commission, and more specifically by Commission Delegated Regulation (EU) 2024/1364, which has been in force and legally binding since September 2024. Operators of larger DCs are obliged to report sustainability key performance indicators (KPIs). However, the European database remains inaccessible to the public at present.

These conditions result in the challenging definition of planning tools to regulate and govern DC spatial development at different scales. Whilst in Europe, the countries in which DCs were initially established have since become more restrictive, with some even imposing moratoria on DC construction (Monstadt, Saltzman, 2025), the absence of clear national or regional laws in Italy provides neither public nor private actors with the necessary elements of certainty. This, in turn, gives rise to problems of competition among territories. Nevertheless, the subject is currently the focus of political debate.

In 2024, the Ministry for the Environment and Energy Security and the Lombardy Region established guidelines on environmental assessment and application procedures, formulating preliminary regulations that,

however, lacked prescriptive nature. In the same year, a total of four draft laws were submitted to the Italian government by various political parties. The documents have been consolidated into a single proposal, which is currently under review. A number of territorial and spatial issues have been identified, including land consumption, brownfield reuse, energy efficiency, renewable energy production and territorial equalisation. However, the primary focus remains on the simplification of procedures with a view to attracting investment. In a more explicit way, the Italian Ministry of Enterprises and Made in Italy has published a national Strategy for DCs attraction (2025) that suggests a more homogenous diffusion of these facilities throughout the country for increasing the resilience of energy grids and the latency of services. Despite the current limited presence of DCs in Southern regions, they exhibit notable technological and infrastructural elements, including the presence of optical fibres, the recent diffusion of exchange points, and the arrival of submarine cables. Consequently, they have the potential to function as a digital gateway for the entire Mediterranean region.

6. Final considerations for further research

All the available data indicates a global and national trend of significant development of Data Centers in the very near future. As reported by the paper, this phenomenon

is unprecedented in the field of territorial planning, particularly in Italy, due to the nature of the infrastructure involved, its respective needs and impacts, the rapidity of realisations, the quantity of capital involved, and the various actors engaged. Consequently, the digital and data economy necessitates careful consideration within the territorial field to address all the different challenges and opportunities posed.

A crucial element related to planning techniques is the explicit identification of Data Centers. Their hybrid nature poses challenges in terms of their classification within traditional land use categories (Jones et al., 2013). Should their impacts be ascribed to industrial activities, however, when considered in the context of their functions, a stronger affiliation emerges with logistics (stock) and the tertiary sector. In Italy, private actors and associations – in particular the Italian Association of Data Centers (IDA) – have called for the necessity to recognise DCs as a specific economic activity, thus avoiding ambiguity. However, the absence of clear legislation at present means that each municipality can decide on a subject that is crucial for calculating urbanisation and building costs, compensations, and tax revenues. This poses issues of local competitiveness, which can be addressed by defining specific locations for these facilities. In this way it would be possible to avoid competition with other land uses

and to attract investments, as some FLAP-D cities have recently shown. Nevertheless, this decision may give rise to speculation phenomena and necessitate a re-evaluation of territorial equalisation to ensure equitable distribution of benefits. The issue of how to define DCs localisation, inserting them into broader territorial and energy strategies, is thus of pivotal importance.

On these two issues, the Metropolitan City of Milan has set some directions for local municipalities through the *Thematic Territorial Strategy for the Innovation of Production, Service and Distribution Spaces* (May 2025), a document that is part of the *Strategic Metropolitan Plan*. It identifies DCs as infrastructures of tertiary nature and supralocal relevance, thus calling for the implementation of environmental evaluation (VAS) procedures and concertation. The Strategy also defines the criteria for localisation and, through two specific maps, identifies areas of exclusion and attention according to environmental and landscape components, as well as elements for the definition of areas for suitable location, following principles of functional integration and territorial regeneration. Nevertheless, the implementation of this innovative experimental normative framework has been hindered by the ongoing debate on a dedicated law at the regional level, which is shifting towards industrial land use. The research project 'ProdAction', which provided the foundation for the present

study, seeks to offer policy proposals that are grounded in scientific evidence and informed by a comprehensive collaborative process involving multiple stakeholders. Stakeholder engagement, particularly with public bodies, has highlighted the necessity for specific laws that include prescriptive elements, particularly concerning land and energy consumption. These laws should be complemented by a series of incentives to promote the sustainability and territorial integration of DCs, envisaging streamlined procedures.

Whilst this is not the primary focus of the present paper, some areas of interventions have been identified and will be further developed as part of the research. We will provide policymakers with recommendations related to defining specific requisites for energy consumption and efficiency at a building level; the reuse of brownfields; the identification of environmental compensation measures, as well as more general planning rules for DCs localisation, related to specific zoning areas but also to the opportunities of creating urban cycles.

The political and administrative dynamism, in conjunction with the rapid market-driven processes of development observed, suggests that the case of Milan and the Lombardy region may serve as a testbed for innovative and replicable territorial planning strategies and instruments for a more sustainable and integrated approach to Data Centers development.

Notes

¹ It is one of the pilot research projects funded by the Competence Center for Anti-fragile Territories of the Department of Architecture and Urban Studies of the Politecnico di Milano. The Centre explores the skills and tools necessary to support public administrations in managing emerging challenges in the relationship between space and society. It aims to contribute to the activation of antifragile resources and sustainability in the territories. For more information, see the website <https://craft.dastu.polimi.it/en> (last visited December 2025).

² Internet exchange points are physical locations that facilitate the exchange of internet traffic between different networks and internet service providers. These central hubs enable efficient and cost-effective data exchange, reducing latency and improving network performance. They also foster network resilience, enhancing local and regional internet connectivity, and enabling the growth of digital ecosystems by facilitating the exchange of large volumes of data at high speeds.

³ These data were collected during the participation of a webinar titled 'Data center e rinnovabili' [Data center and renewable energies] held on the 10th December 2025 by Elettricità Futura, the Italian leading association of the electricity industry. Further details can be found on the webpage: https://www.elettricitafutura.it/Media/News/Technology-Watch-data-Center-e-rinnovabili-infrastrutture-digitali-per-la-transizione-energetica_6819.html (last access December 2025).

⁴ According to calculations performed by TEHA for A2A (2025), the reuse of heat from data centers located in proximity to existing or planned district heating networks has the potential to reach 9.5 TWh per year. This is equivalent to the heating requirements of 800,000 Italian households, of which over 530,000 are in the Milan metropolitan area alone. It has been calculated that this would result in potential savings of up to 2 million tonnes of CO₂ per year at full operational capacity, being equivalent to a 5% reduction in emissions from the residential sector.

⁵ During a conference in May 2025, Terna – the Italian transmission system operator – disclosed that it had received requests for approximately 44 GW of power, which exceeds the European nominal IT energy power. However, it is anticipated that only a limited proportion (around 1 GW) of these requests will be converted into actual DCs. In accordance with Terna's obligation to ensure grid connectivity, the acceptance of such unrealistic requests hinders the quantification of demand and the effective planning of supply.

References

A2A S.p.a., TEHA Group S.p.a., 2025, L'Italia dei data center: energia, efficienza, sostenibilità per la transizione digitale, Position paper, <<https://www.gruppoa2a.it/it/media/comunicati-stampa/italia-data-center-ambrosetti>>

Amoore L. 2016, Cloud geographies: Computing, data, sovereignty, «Progress in Human Geography», 42, 1, pp. 4-24. <https://doi.org/10.1177/0309132516662147>

Atkins E. 2021, Tracing the 'cloud': Emergent political geographies of global data centres, «Political Geography», Volume 86, 102306. <https://doi.org/10.1016/j.polgeo.2020.102306>

Barns S. 2020, Platform urbanism: Negotiating platform ecosystems in connected cities, Palgrave Macmillan.

Bashroush R., Rteil N., Kenny R., Wynne A. 2020, Optimizing Server Refresh Cycles: The Case for Circular Economy With an Aging Moore's Law, «IEEE Transactions on Sustainable Computing», 1. <https://doi.org/10.1109/TSUSC.2020.3035234>

Bast D., Carr C., Madron K. Syrus A.M. 2022, Four reasons why data centers matter, five implications of their social spatial distribution, one graphic to visualize them, «Environment and Planning A», 54, 3, p. 441-445. <https://doi.org/10.1177/0308518X211069139>

Brenner N., Katsikis N. 2020, Operational Landscapes: Hinterlands of the Capitalocene, «Architectural Design», 90, 1, pp. 22-31. <https://doi.org/10.1002/ad.2521>

Brodie P., Velkova J. 2021, Cloud ruins: Ericsson's Vaudreuil-Dorion data centre and infrastructural abandonment, «Information, Communication & Society», 24(6), pp. 869-885. <https://doi.org/10.1080/1369118X.2021.1909099>

Burrell J. 2020, On half-built assemblages: Waiting for a data center in Prineville, Oregon, «Engaging Science, Technology, and Society», 6, 283. <https://doi.org/10.17351/ests2020.447>

- Carr C., Bast D., Madron K., Syrus A. M. 2022, Mapping the clouds: the matter of data centers, «Journal of Maps», 18(1), pp. 106–113. <https://doi.org/10.1080/17445647.2022.2088304>
- Carr C., Hesse M. 2022, Technocratic urban development: Large digital corporations as power brokers of the digital age, «Planning Theory & Practice», 23, 3, pp. 476–485. <https://doi.org/10.1080/14649357.2022.2043717>
- Carse A., Kneas D. 2019, Unbuilt and unfinished, «Environment and Society», 10(1), pp. 9–28. <https://doi.org/10.3167/ares.2019.100102>
- CBRE 2024, European Data Centres Overview, <<https://www.cbre.com/insights/reports/european-data-centres-overview>>
- CBRE 2025, European Data Centres Figures Q2, <<https://www.cbre.com/insights/figures/european-data-centres-figures-q2-2025>>
- Cournet P., Sanaan Bensi N. 2023, Datapolis. Exploring the Footprint of Data on Our Planet and Beyond, nai010 publishers, Rotterdam.
- Daly H. 2024, Data centres in the context of Ireland's carbon budgets, University College Cork, <https://www.friendsoftheearth.ie/assets/files/pdf/data_centres_and_the_carbon_budgets_-_prof_hannah_daly_dec_2024.pdf>
- Diguet C., Gawlik M., Larouelle N. 2024, Data Center Growth and Proposals for Regulation, <<https://en.institutparisregion.fr/resources/publications/data-center-growth-and-proposals-for-regulation/>>
- Diguet, C., Lopez, F. 2019, The Spatial and Energy Impact of Data Centers on the Territories, <<https://www.ors-idf.org/nos-travaux/publications/limpact-spatial-et-energetique-des-data-centers-sur-les-territoires/>>
- Ewim D.R.E., Ninduwezuor-Ehiobu N., Orikpete O.F., Egbokhaebho B.A., Fawole A.A., Onunka C. 2023, Impact of Data Centers on Climate Change: A Review of Energy Efficient Strategies, «The Journal of Engineering and Exact Sciences», 9(6), 16397–01e. <https://doi.org/10.18540/jcecvl9iss6pp16397-01e>
- Furlong K. 2021, Geographies of infrastructure II: concrete, cloud and layered (in)visibilities, «Progress in Human Geography», 45.1, pp. 190–98. <https://doi.org/10.1177/0309132520923098>
- Gazzola V., Menoni S., Ghignatti P., Marini A., Mauri R., Oldani G. 2023, Analysis of Territorial Risks and Protection Factors for the Business Continuity of Data Centers, «Sustainability», 15, 6005. <https://doi.org/10.3390/su15076005>
- Greenstein S., Pan Fang T. 2020, Where the Cloud Rests: The Economic Geography of Data Centers, Working Paper 21-042, Harvard Business School, <https://www.hbs.edu/ris/Publication%20Files/21-042_47feacb8-215d-408f-81e2-8b101b9a8f0a.pdf>
- Herrlin M. 2024, Guidance in Identifying Zombie Servers in Data Centers, <<https://datacenters.lbl.gov/sites/default/files/2024-07/Guidance%20on%20Finding%20Zombie%20Servers%20in%20Data%20Centers.pdf>>
- Huang P., Copertaro B., Zhang X., Shen J., Löfgren I., Rönnelid M., Fahlen J., Andersson D., Svanfeldt M. 2019, A review of data centers as prosumers in district energy systems: Renewable energy integration and waste heat reuse for district heating, «Applied Energy», 258. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2019.114109>
- Hwaiyu Geng, P.E. 2015, Data Center Handbook, John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey.
- International Energy Agency 2025, Energy demand from AI, <<https://www.iea.org/reports/energy-and-ai/energy-demand-from-ai>>

- Italian Ministry of Enterprises and Made in Italy 2025, Una strategia per l'attrazione in Italia degli investimenti industriali esteri in data center, <https://www.mimit.gov.it/images/stories/documenti/ATTRAZIONE_DEI_DATA_CENTER_2025.pdf>
- Johnson A. 2019, Data centers as infrastructural in-betweens: Expanding connections and enduring marginalities in Iceland, «American Ethnologist», 46, 1, pp. 75-88. <https://doi.org/10.1111/amet.12735>
- Jones P., Hillier D., Comfort D. 2013, Data centres in the UK: property and planning issues, «Property Management», 31, 2, pp. 103-114. <https://doi.org/10.1108/02637471311309418>
- Juskus R. 2023, Sacrifice Zones. A Genealogy and Analysis of an Environmental Justice Concept, «Environmental Humanities», 15, 1, pp. 3-24. <https://doi.org/10.1215/22011919-10216129>
- Karnama A., Haghighi E.B., Vinuesa R. 2019, Organic data centers: A sustainable solution for computing facilities, «Results in Engineering», 4, 100063. <https://doi.org/10.1016/j.rineng.2019.100063>
- Kollar J. 2025, How South Memphis Became a Sacrifice Zone for xAI's Data Center, <<https://www.justinmkollar.com/work/how-south-memphis-became-a-sacrifice-zone-for-xais-data-center>>
- Koot M., Wijnhoven F. 2021, Usage impact on data center electricity needs: A system dynamic forecasting model, «Applied Energy», 291, 116798. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2021.116798>
- Kunzmann K.R. 2014, Smart Cities: A New Paradigm of Urban Development, «Crios, Critica degli ordinamenti spaziali», 1, pp. 9-20.
- Liang Y., Li P., Su W., Li W., Xu W. 2024, Development of green data center by configuring photovoltaic power generation and compressed air energy storage systems, «Energy», 292, 130516. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2024.130516>
- Libertson F., Velkova J., Palm J. 2021, Data-center infrastructure and energy gentrification: perspectives from Sweden, «Sustainability: Science, Practice and Policy», 17, 1, pp. 152-161. <https://doi.org/10.1080/15487733.2021.1901428>
- Mahmoudi D., Levenda A.M., Stehlin J.G. 2020, Political ecologies of platform urbanism. Digital labor and data infrastructures, in M. Hodson, J. Kasmire, A. McMeekin, J.G. Stehlin, K. Ward (eds.), Urban Platforms and the Future City. Transformations in Infrastructure, Governance, Knowledge and Everyday Life, Routledge, London.
- Manganelli M., Soldati A., Martirano L., Ramakrishna S. 2021, Strategies for improving the sustainability of data centers via energy mix, energy conservation, and circular energy, «Sustainability», 13(11), 6114. <https://doi.org/10.3390/su13116114>
- Mayer V., Velkova J. 2023, This site is a dead end? Employment uncertainties and labor in data centers, «The Information Society», 39(2), pp. 112-122. <https://doi.org/10.1080/01972243.2023.2169974>
- Mezzadra S., Neilson B. 2019, The Politics of Operations: Excavating Contemporary Capitalism, Duke University Press.
- Monseratte S.G. 2022, The Cloud Is Material: On the Environmental Impacts of Computation and Data Storage, MIT Case Studies in Social and Ethical Responsibilities of Computing, <<https://scispace.com/pdf/the-cloud-is-material-on-the-environmental-impacts-of-1crp29en.pdf>>
- Monstadt J., Saltzman K. 2025, How Data Centers Have Come to Matter: Governing the Spatial and Environmental Footprint of the 'Digital Gateway to Europe', «International Journal Of Urban And Regional Research», 49, 4, p. 757-778, <https://doi.org/10.1111/1468-2427.13316>

- Mytton D. 2021, Data centre water consumption, «npj Clean Water», 4, 11, <<https://www.nature.com/articles/s41545-021-00101-w>>
- Nelson M. 2022, Addressing the carbon footprint of data centre backup power, «Digital Infra Network», <<https://digitalinfranetwork.com/addressing-the-carbon-footprint-of-data-centre-backuppower/>>
- Ngata W., Bashir N., Westerlaken M., Liote L., Chandio Y., Olivetti E. 2025, The Cloud Next Door: Investigating the Environmental and Socioeconomic Strain of Datacenters on Local Communities, paper presented at the conference ACM COMPASS 2025. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2506.03367>
- Osservatorio Data Center, Politecnico di Milano, 2025, Data century: le infrastrutture protagoniste del futuro, report
- Osservatorio Data Center, Politecnico di Milano, 2026, Dal rumore al valore: l'Italia come nuovo Data Center Hub Europeo, report
- Pellizzoni L. 2025, Zone di sacrificio: un'esplorazione concettuale, in F. Perocco, G. Pirina, Le disuguaglianze territoriali in Italia. Cause, forme, conseguenze, Edizioni Ca' Foscari, Venezia
- Pickren G. 2018, 'The global assemblage of digital flow': critical data studies and the infrastructures of computing, «Progress in Human Geography», 42.2, pp. 225-43. <https://doi.org/10.1177/03091325166732>
- Pileri P. 2025, Data center, nuovi divoratori di suolo in arrivo, «Altreconomia», February
- Siddik M.A.B., Shehabi A., Marston L. 2021, The environmental footprint of data centers in the United States, «Environmental Research Letters», 16, 064017. Doi: 10.1088/1748-9326/abfba1
- Srnicek N. 2017, Platform Capitalism, Politybooks, Malden
- SNPA, Sistema Nazionale per la Protezione dell'Ambiente 2025, Consumo di suolo, dinamiche territoriali e servizi ecosistemici, Report di sistema n. 46, <<https://www.snpambiente.it/pubblicazioni/consumo-di-suolo-dinamiche-territoriali-e-servizi-ecosistemici-edizione-2025/>>
- Taylor A.R.E. 2021, Standing by for data loss: Failure, preparedness and the cloud, «Ephemera», 21(1), pp. 59-93, <<https://ephemerajournal.org/contribution/standing-data-loss-failure-preparedness-and-cloud>>
- Terna 2025, Piano di Sviluppo della Rete, <<https://www.terna.it/it/sistema-elettrico/programmazione-territoriale-efficiente/piano-sviluppo-rete>>
- Thangam, D., Muniraju, H., Ramesh, R., Narasimhaiah, R., Khan, N.M.A., Booshan, S., Booshan, B., Ganesh, R. 2024, Impact of Data Centers on Power Consumption, Climate Change, and Sustainability, in K. D. Kumar, V. Varadarajan, N. Nasser, R.K. Poluru, Computational Intelligence for Green Cloud Computing and Digital Waste Management, IGI Global Publishers, USA, pp.60-83. Doi: 10.4018/979-8-3693-1552-1.ch004
- Turnbull J., Searle A., Hartman Davies O., Dodsworth J., Chasseray-Peraldi P., von Essen E., Anderson-Elliott H. 2023, Digital ecologies: materialities, encounters, governance, «Progress in Environmental Geography», 2.1/2, pp. 3-32. doi 10.1177/27539687221145698
- Wang T., Yorke-Smith N. 2025, Introduction: AI for and in Urban Planning, «Urban Planning», 10, 9417. <https://doi.org/10.17645/up.9417>
- Xue C., Tian W., Zhao X. 2020, The Literature Review of Platform Economy, «Scientific Programming», 8877128. <https://doi.org/10.1155/2020/8877128>
- Zubizarreta I., Seravalli A., Arrizabalaga S. 2015, Smart City Concept: What It Is and What It Should Be, «Journal of Urban Planning and Development», 142, 1. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)UP.1943-5444.0000282](https://doi.org/10.1061/(ASCE)UP.1943-5444.0000282)

Fra mente e algoritmo: l'intelligenza artificiale nel progetto urbano

Between Mind and
Algohythm: Artificial
Intelligence in Urban
Design

Iacopo Zetti

DIDA, Università di Firenze
iacopo.zetti@unifi.it
orcid.org/0000-0002-1890-8530

Biagio Martino

DIDA, Università di Firenze
biagiomartino98@gmail.com

Received: March 2025 / Accepted: September 2025 | © 2025 Author(s).
This article is published with Creative Commons license CC BY-SA 4.0
Firenze University Press.
DOI: 10.36253/contest-16002

keywords

artificial intelligence
assisted design
generative design

1. Introduzione

L'introduzione dell'intelligenza artificiale (da qui in poi AI) in molti campi della nostra vita è un dato evidente, perfino più capillare di quanto sia percepito. Tuttavia, la letteratura che ne analizza l'impiego nel campo della progettazione risulta ancora relativamente limitata. Se poi restringiamo il campo alla progettazione urbanistica possiamo osservare come sia quasi inesistente a livello nazionale¹. Allo stesso tempo sappiamo che gli strumenti di lavoro influiscono in maniera significativa sui risultati, come bene ha sottolineato chi si è interrogato sull'uso della cartografia tradizionale in urbanistica (Dematteis, 1985), sulla sua trasformazione digitale

(Farinelli, 2004; Dalton, 2015; Dodge and Kitchin, 2012) e sul suo ruolo di «immagine per agire» (Söderström, 2000). Riteniamo dunque fondamentale riflettere su quali siano gli impatti prevedibili e, allo stato attuale, possibili di software e piattaforme di AI nella progettazione urbanistica.

In questo articolo analizzeremo il ruolo degli strumenti di progettazione assistita nel processo di pianificazione urbanistica, esaminandone po-

The paper analyses the application of artificial intelligence in urban planning through a concrete case study. Using computational tools, the proposed test compares AI-generated solutions with a traditional design process. The analysis highlights the ability of the algorithms to generate layouts but reveals limitations in the integration with the urban context and in the management of qualitative aspects. The tools used prove to be effective in supporting design schemes and in allowing rapid environmental simulations,

but require human guidance to interpret the spatial fabric and urban standards. The experiment confirms the role of the designer in mediating between calculation and creativity, integrating ethics, spatial narrative and contextual adaptation. AI emerges as a regulatory device but does not replace human vision in interpreting urban complexity and translating social values into design solutions.

tenzialità e limiti, e a tal fine presenteremo i risultati di un test appositamente sviluppato per valutarne l'efficacia. Trattandosi di un caso studio singolo e non di un'ampia sperimentazione è importante valutare i risultati con cautela, dobbiamo però considerare che, ad oggi, non ci pare esista in letteratura una qualche analisi appoggiata su sperimentazioni analoghe, che utilizzano l'AI in confronto ad una esperienza di concorso di progettazione urbana².

L'ipotesi da cui parte l'esperimento è che gli strumenti computazionali possono esplorare soluzioni che l'intelligenza umana potrebbe non cercare, o che potrebbero essere fuori dall'orizzonte della nostra comprensione immediata. Questo non tanto perché gli applicativi di cui parleremo sono intrinsecamente intelligenti, ma piuttosto perché riescono a enfatizzare specifici aspetti del percorso di progettazione. In altre parole, ci domanderemo: l'automazione co-

gnitiva può cogliere sottili sfumature, schemi e relazioni complesse che potrebbero sfuggire all'osservazione umana, permettendo di identificare soluzioni innovative ed inaspettate nei contesti di progettazione architettonica e pianificazione urbana? Oppure si limita a supportare un percorso già tracciato, rendendo i processi decisionali comunque più rapidi, meno onerosi e potenzialmente più efficaci nel testare nuove soluzioni?

Il testo che segue non pretende di fornire risposte definitive a queste domande, ma cerca di introdurre alcuni spunti per una riflessione critica.

2. Intelligenza artificiale

2.1 Brevi cenni sull'intelligenza (artificiale)

La replica del comportamento cognitivo umano è stata una sfida di grande fascino fin dai primordi dell'informatica, alimentando un vivace dibattito teorico e filosofico sulla distinzione fra le forme di pensiero umane e computerizzate (basti citare le note teorie di Alan Turing - Turing, 1950). Ancora oggi però non esiste una definizione univoca di AI e questa mancanza sottolinea proprio la complessità delle questioni trattate.

Marvin Minsky nel 1986, definiva l'intelligenza come capacità di affrontare e risolvere problemi complessi, sottolineandone un aspetto che non si limita alla riproduzione di comportamenti umani, ma riguarda piuttosto la capacità di sviluppare soluzioni innovative in situazioni differenti. Egli paragona il cervello ad una società or-

ganizzata, costituita da componenti interconnesse e gerarchicamente strutturate. Nella sua prospettiva esiste un legame diretto tra il funzionamento cognitivo umano e i processi di elaborazione informatica: il nucleo cognitivo può essere visto come una macchina operativa (Minsky, 1961, 1988).

Già a partire dal 1960, John McCarthy concepiva l'intelligenza umana come la componente computazionale della capacità di raggiungere obiettivi. Per McCarthy l'intuito non è una caratteristica esclusiva degli esseri umani, ma anche di animali e altri esseri viventi, ed è presente anche in certi comportamenti esibiti dalle macchine. La sua visione considera l'intelletto un processo computazionale finalizzato al raggiungimento di obiettivi, superando la concezione tradizionale che lo attribuisce esclusivamente agli umani (McCarthy, 2008).

Infine Lawrence Jerome Fogel, pioniere del calcolo evolutivo, definisce l'intelligenza come la capacità di un sistema di adeguare il proprio comportamento per conseguire tutti i propri obiettivi in una varietà di contesti e situazioni. Egli sottolinea che per le specie biologiche la sopravvivenza costituisce un obiettivo primario, mentre per le macchine tale scopo deve essere specificato dal progettista. Questa prospettiva richiama l'essenza dell'evoluzione, in cui l'adattamento alle condizioni ambientali è cruciale per la sopravvivenza (Fogel, 1964; Fogel et al., 1966).

In sintesi, il raggiungimento di obiettivi e la ri-

soluzione di problemi rappresentano il filo conduttore fra queste tre prospettive: Fogel pone l'accento sull'adattamento comportamentale, Minsky sull'innovazione nella risoluzione dei problemi e McCarthy sugli aspetti computazionali. Le loro teorie non solo arricchiscono la comprensione dell'intelligenza come concetto sfaccettato, ma evidenziano anche la (affascinante) complessità dei sistemi logici su cui si basa lo sviluppo dell'AI (Plebe, Perconti, 2022).

2.2 *Machine Learning e Deep Learning*

Qualsiasi definizione di AI si scelga, è evidente che non può essere elusa una connessione con il concetto di apprendimento ed in particolare con l'apprendimento automatico. In questo quadro il Machine Learning e il Deep Learning hanno assunto un ruolo di primo piano.

2.2.1 *Machine Learning*

Il Machine Learning si occupa dello studio di algoritmi e modelli capaci di apprendere dai dati forniti, migliorando nel tempo l'esecuzione di compiti specifici (Mahes, 2020). Questo concetto, introdotto da Arthur Lee Samuel nel 1959, si basa sull'idea che l'approccio ottimale per insegnare alle macchine ad imparare è quello di consentire loro di interagire con l'ambiente circostante, di modo da sviluppare una serie di strategie per risolvere problemi. Samuel testò negli anni '60 le sue teorie attraverso giochi strategici come la dama (Wiederhold, McCarthy, 1992), e non sfuggirà qualche analogia tra questo tipo di

interazione e l'attività di pianificazione urbanistica in quanto anch'essa si sviluppa all'interno di un contesto specifico, le cui regole sono talvolta esplicite (livello normativo), o implicite nel palinsesto territoriale.

Pochi anni dopo Tom Mitchell fornì un ulteriore chiarimento riguardo al concetto di apprendimento automatico. Egli scrisse che il Machine Learning può essere descritto come un processo che si applica a compiti nuovi migliorando la sua efficienza nel tempo grazie all'acquisizione di esperienza (Mitchel, 1997). Esistono diverse tipologie di approcci che possono essere utilizzati in questo contesto, classificabili in base al processo di apprendimento, ma complessivamente essi si distinguono in approccio supervisionato o non supervisionato (Alloghani et al., 2020).

La prima tipologia prevede modelli addestrati utilizzando dati etichettati, che contengono solo risposte corrette ed è particolarmente adatta per problemi di classificazione.

La seconda analizza dati non etichettati, cercando di individuare strutture nascoste e raggruppando elementi simili ed è utile per l'esplorazione di schemi non evidenti. In alcuni casi i due approcci possono essere combinati per ottenere una comprensione più approfondita dei dati e dei modelli (Nasteski, 2017).

Premesso che in questo articolo non avrebbe senso spingersi più a fondo nella descrizione tecnica del Machine Learning, preme qui evidenziare che nel caso di studio presentato è stato sperimentato un approccio inizialmente auto-

matico, seguito da una supervisione qualitativa delle soluzioni generate dal software. I dettagli del processo saranno descritti nelle sezioni successive.

2.2.2 *Deep Learning*

Nel corso degli anni le tecnologie di Machine Learning hanno assunto particolare importanza grazie ai miglioramenti dell'hardware e della disponibilità di grandi quantità di dati. I Big Data in particolare sono una fonte preziosa per l'esperienza accumulata dalla macchina, contribuendo a sviluppare algoritmi di apprendimento capaci di elaborare informazioni sempre più dettagliate. Essi infatti permettono di addestrare modelli più complessi grazie alla possibilità di correggere efficacemente i parametri modificabili all'interno del modello (per esempio il peso di ciascun neurone di una rete neurale).

Le due innovazioni combinate hanno permesso di sviluppare algoritmi raffinati, basati sul concetto di perceptrone già proposto nel 1958 da Frank Rosenblatt (Rosenblatt, 1960), che mirava a replicare meccanismi di funzionamento del sistema nervoso umano capaci di riconoscere delle forme. Questa innovazione ha aperto la strada a quello che viene definito apprendimento profondo e alle reti neurali.

Il Deep Learning è stato sviluppato per superare i limiti tradizionali legati all'elaborazione dei dati in forma grezza. Esso dimostra un miglioramento esponenziale delle prestazioni all'aumentare dei dati forniti, riuscendo così a emu-

lare alcune capacità della mente umana. Si basa su una struttura stratificata che consente di apprendere progressivamente rappresentazioni sempre più complesse degli elementi in ingresso, concedendo al modello di estrarre autonomamente caratteristiche rilevanti. Ciascun livello è costituito da moduli semplici ma non lineari, i quali prendono le attivazioni provenienti dal livello precedente e le trasformano in una rappresentazione leggermente più astratta (LeCun et al., 2015).

In sostanza il Deep Learning sfrutta un sistema gerarchico di tipi logici in grado di assimilare i dati e prendere decisioni in modo autonomo. Anche nel caso del Deep Learning esistono diversi approcci e modelli, ciascuno con le proprie caratteristiche e finalità. In sintesi citiamo:

- reti neurali artificiali - modelli matematici che regolano l'apprendimento in base agli errori di previsione rispetto ai dati di addestramento consentendo di generalizzare le previsioni su nuovi dati (Zhang, 2000);
- reti neurali convoluzionali - strutture che utilizzano filtri per estrarre caratteristiche da input tridimensionali per poi eseguire la classificazione basandosi sulle rappresentazioni apprese (sono fondamentali per il riconoscimento delle immagini - IBM 2025);
- reti neurali ricorrenti - modelli che considerano la dipendenza temporale tra i dati e che per questo sono ideali per affrontare problemi come il riconoscimento di sequenze e il linguaggio naturale.

Queste sono solo alcune delle tipologie di apprendimento profondo e benché il Deep Learning sia affascinante ed utile per le sue potenzialità, è importante sottolineare che richiede un notevole calcolo computazionale, con implicazioni anche dal punto di vista economico e della gestione (Aggarwal, 2023).

Nel nostro caso, grazie alle potenzialità del Deep Learning, è stato possibile analizzare fotografie satellitari per estrarre informazioni dettagliate:

- sull'uso del suolo, la disposizione degli edifici,
- la distribuzione della vegetazione e altri elementi dell'ambiente urbano.
- In questo contesto le reti neurali sono state addestrate su immagini di quartieri e città per identificare caratteristiche urbane come:
- le linee stradali,
- la densità degli edifici,
- la distribuzione del verde,

fornendo una visione dell'ambiente costruito e dei suoi componenti (Basu et al., 2022). Va detto per chiarezza che non conosciamo con precisione il metodo di addestramento del software utilizzato, essendo proprietario, ma è probabile che proprio queste ultime potenzialità siano alla base della tecnologia. Nel prosieguo del testo vedremo come in effetti le capacità analitiche che derivano dall'apprendimento su banche dati geografiche siano effettivamente sviluppate e forniscano notevoli opportunità, mentre l'approccio alla generazione di schemi progettuali richiede una guida costante.

2.3 Applicazioni dell'AI in campo urbanistico

L'impiego di modelli matematici per ottimizzare lo sviluppo urbano ha suscitato a lungo l'interesse di esperti e ricercatori. Il matematico George Dantzig nel 1947 diede un contributo fondamentale al settore, sviluppando modelli per affrontare problemi di pianificazione e programmazione. Il suo lavoro portò alla creazione del metodo del simplesso, un algoritmo numerico per la risoluzione di problemi che derivano dalla programmazione lineare in uno spazio multidimensionale. Dantzig credeva che i risultati potessero essere di vitale importanza per la soluzione di molteplici questioni che richiedevano un approccio sistemico, tra cui la pianificazione urbana (Gill et al., 2008). Naturalmente tale approccio non si diffuse subito, ma l'avvento del *personal computer* segnò un punto di svolta nel settore della pianificazione, determinando un sempre maggior utilizzo degli algoritmi e della logica formale.

Il PC ha di fatto reso accessibili ai professionisti le metodologie basate su sistemi informatici, consolidando la loro fiducia nelle tecnologie e nelle scienze applicate. Parallelamente, la diffusione dei Sistemi Informativi Geografici ha rivoluzionato la pianificazione, ampliando le capacità di analisi del contesto e ottimizzando la gestione delle scelte di progetto (Harris, Batty, 1993).

Oggi ai professionisti è richiesta una solida competenza informatica e una padronanza dei software, mentre l'evoluzione degli algoritmi ha

segnato un significativo progresso nella generazione di forme architettoniche consentendo una modellazione più organica, basata su regole definite dal progettista (Nebuloni, Rossi, 2017). Proprio questo interesse nel campo delle materie scientifiche ha permesso lo sviluppo del concetto di design computazionale.

Questo approccio alla pianificazione utilizza parametri variabili per definire e manipolare forme e strutture e permette la generazione di una vasta gamma di soluzioni progettuali, inoltre consente di creare forme complesse e strutture innovative grazie a sistemi avanzati basati su AI e Deep Learning.

Il design computazionale può essere utilizzato per ottimizzare i progetti in base a criteri specifici, come efficienza funzionale, performance energetica o costi, ma uno dei suoi vantaggi principali è la capacità di esplorare una vasta gamma di soluzioni progettuali in risposta a modifiche nei parametri di input, consentendo di testare rapidamente molteplici scenari (Langella et al., 2017; Eloy et al., 2022).

Questo approccio mira a generare schemi di disposizione spaziale urbana direttamente dalla prospettiva del computer, fornendo supporto alla pianificazione ed al design urbano tradizionali. In tali schemi i dati relativi all'ambiente circostante l'area di progettazione giocano un ruolo decisivo e pertanto vengono inclusi come input (Wan, Ma, 2022).

3. Il riuso della caserma «Lupi di Toscana» a Firenze. Un test operativo

Nei paragrafi seguenti illustreremo un test di progettazione urbana eseguito con strumenti di IA, sulla base di un'opportunità di confronto con una procedura di progettazione tradizionale relativa a un concorso per un'area all'interno del comune di Firenze. In questo contesto intendiamo per progettazione urbana il complesso processo di organizzazione degli elementi fisici all'interno di un ambiente urbano, al fine di creare uno spazio costruito che sia efficiente, vivibile e sostenibile dal punto di vista ambientale (Carmona, 2010; Gehl, 2010).

In particolare, la sfida principale che testeremo risiede nella disposizione degli edifici, un aspetto di primaria importanza poiché influisce non solo sulla struttura fisica delle costruzioni, ma anche sulle dinamiche di interazione tra le persone e l'ambiente circostante. Questo test di progettazione impiega metodi generativi e parametrici assistiti per esplorare una vasta gamma di alternative, con l'obiettivo di soddisfare requisiti specifici. In questo campo le reti generative conosciute come GAN (Generative Adversarial Networks) risultano particolarmente efficienti per la generazione automatica dei layout degli edifici (Jiang et al., 2023), e dunque ciò che ci proponiamo di testare è se in effetti questi sistemi siano in grado di estrarre relazioni implicite e conoscenze urbane dai dati inseriti, per verificare che le soluzioni generate siano coerenti sia semanticamente che urbanisticamente (Newton, 2019).

3.1 Strumenti impiegati

Nel test la scelta è stata quella di ricorrere a un software di progettazione generativa, Autodesk Forma, che sfrutta questa nuova tecnologia per proporre soluzioni progettuali attraverso l'integrazione di Machine Learning e Deep Learning. Nello specifico Forma consente, oltre alla produzione di schemi di distribuzione di edifici a partire da input sui volumi edilizi e percentuali di diversi usi del suolo, anche di effettuare analisi su dati (come densità e caratteristiche ambientali), sin dalle prime fasi del flusso progettuale.

La scelta di Forma è legata alla sua relativa facilità d'utilizzo, alla diffusione dei prodotti Autodesk e, ovviamente, alle sue caratteristiche, le quali saranno illustrate brevemente di seguito³.

Il flusso di lavoro sarà dunque legato all'uso di Forma, ma utilizzeremo anche generatori di immagini basati su reti neurali, nello specifico PromieAi e Stable Diffusion (prodotto da Stability AI), per testare una filiera completa di strumenti che, oltre allo schema di distribuzione su scala urbana, consentono quantomeno una verifica sommaria di scelte relative all'architettura degli spazi.

3.1.1 Forma: caratteristiche ed elementi per il test

Negli ultimi decenni gli strumenti informatici per la progettazione hanno subito un'evoluzione significativa passando dai software di disegno assistito (CAD) a più complessi sistemi di gestione di informazioni, ovvero i sistemi Build-

ding Information Modeling (BIM). Questo cambiamento è stato determinato principalmente dall'esigenza di fornire una visione dettagliata e integrata dell'intero processo progettuale.

Oggi la pianificazione e la progettazione si basano sull'elaborazione di grandi quantità di informazioni, la cui gestione è strettamente legata all'utilizzo di modelli computazionali capaci di interpretare questa mole di informazioni (Montjoy, 2023). In questa prospettiva si inserisce il progetto Spacemaker avviato nel 2016 dall'architetto Havard Haukeland, con l'obiettivo di sviluppare un software per ottimizzare il flusso preliminare di progettazione. Spacemaker ha affrontato la complessità architettonica e urbanistica traducendola in formule matematiche e modelli generativi, capaci di analizzare i dati di input e le preferenze dell'utente per restituire soluzioni ottimizzate. Nel novembre del 2020, il suo successo porta l'azienda Autodesk all'acquisizione del software cambiandone il nome in "Autodesk Forma".

Forma è un software di progettazione urbana, che dopo aver contribuito a produrre uno schema di progetto, permette di effettuare valutazioni ambientali grazie al Machine Learning. Nello specifico gli strumenti offerti rendono possibile:

- elaborazione rapida di varianti progettuali a partire da vincoli geometrici e normativi;
- analisi prestazionali ambientali (luce, rumore, vento, comfort termico) con parametri verificabili.

Prima della fase di test abbiamo assunto l'ipotesi che uno strumento di questo tipo sia in grado di anticipare criticità, ottimizzare i progetti e contribuire al miglioramento delle prestazioni complessive.

3.1.2 L'area di studio

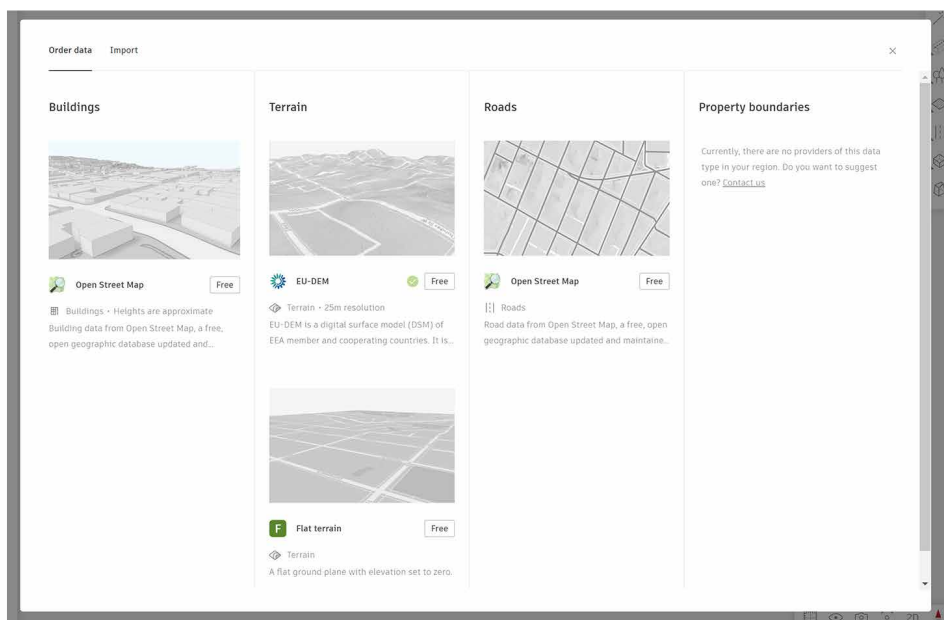
La sperimentazione è stata condotta in un'area interessata da un intervento di riqualificazione urbana, per la quale il Comune di Firenze ha ufficialmente approvato un progetto.

Si tratta dell'ex caserma Gonzaga che ha ospitato fino al 2008 il 78° Reggimento fanteria noto come "Lupi di Toscana". Situata ai margini del territorio comunale, ma nella conurbazione fiorentina, è stata ceduta al Comune nel 2014 e nel 2015 il Regolamento Urbanistico l'ha designata come sede di un'importante trasformazione territoriale, da operarsi attraverso la realizzazione di un nuovo insediamento abitativo.

L'area ha una posizione strategica tra importanti vie di comunicazione, mentre su un lato confina con strutture sanitarie di livello sovra locale. Nel 2016 è stato indetto un concorso internazionale con due obiettivi principali: trasformare l'intera area in un complesso edilizio orientato principalmente al social housing; progettare un insediamento ad alta efficienza energetica.

I vincitori del concorso sono gli architetti Poloni, Saracino e Ghirardelli ed a valle dell'esito della competizione è stato approvato un piano attuativo di iniziativa pubblica.

Per testare un percorso di progettazione ba-



sato sull'AI abbiamo adottato i parametri della proposta vincitrice, sviluppando su tale base un progetto autonomo. Successivamente abbiamo effettuato un confronto diretto tra il progetto approvato dall'amministrazione e le diverse alternative generate dall'AI. Questo confronto si avvale di una tabella valutativa che ha il fine di determinare l'efficacia delle soluzioni generate dal software e, di conseguenza, definire il suo possibile ruolo in un flusso di pianificazione urbanistica a livello di piano attuativo.

3.1.3 Flusso di progetto

Forma è una piattaforma che sfrutta dati reperibili in rete, per questo motivo il flusso progettuale è puramente di natura digitale ed in sintesi, nel nostro caso, è stato composto dalle seguenti fasi:

1. delimitazione del sito mediante coordinate geografiche, dimodoché la piattaforma possa definire gli elementi di OpenStreet-

Map ed EU-DEM (un modello digitale di superficie - DSM) da caricare (Fig.1);

2. delimitazione precisa del confine dell'area di intervento;
3. generazione di schemi di distribuzione volumetrici, viabilità interna e verde secondo parametri dimensionali definiti da algoritmi di Machine Learning.

Da una prima esplorazione degli schemi generati dal software emerge come il modello di apprendimento profondo integri elementi chiave del contesto (soprattutto dal punto di vista funzionale) come le due rotonde esterne, formulando proposte che introducono una nuova uscita stradale per ottimizzare i flussi veicolari e dimostrando la capacità di introiettare alcune delle caratteristiche specifiche del sito. Tuttavia, i layout volumetrici generati mostrano una tendenza a forme rigide e ripetitive, dovuta alla suddivisione dello spazio in particelle sostanzialmente omogenee che hanno l'effetto pri-

Schermata dati tridimensionali disponibili in Autodesk Forma.

Fonte: Martino, B. (2024).

L'intelligenza artificiale e il suo ruolo nella progettazione urbana. Tesi di laurea magistrale, Università degli Studi di Firenze, Dipartimento di Architettura.

Fig. 1

Proposte di Layout generate da Autodesk Forma

Fonte: Martino, B. (2024).

L'intelligenza artificiale e il suo ruolo nella progettazione urbana. Tesi di laurea magistrale, Università degli Studi di Firenze, Dipartimento di Architettura.

Figg. 2-3



mario di garantire distanze minime tra edifici. Dall'osservazione del risultato si evince dunque che il primo parametro che guida le soluzioni è il rispetto di un dato sostanzialmente quantitativo e dimensionale, questo comporta anche un ulteriore limite visibile del software nella gestione degli spazi verdi rispetto alle aree edificate, poiché quest'ultimi vengono regolati solo attraverso dei parametri quantitativi.

Le immagini riportate mostrano come modificando la dimensione degli edifici e la suddivisione delle particelle del terreno, i layout risultino anche sensibilmente diversi (Fig.2 e Fig.3).

Nell'ottica di un confronto con la soluzione progettuale di concorso la genericità degli schemi prodotti dal software rappresenta una criticità, poiché non riflette la complessità del tessuto urbano, ovvero non consente di cogliere l'insieme delle relazioni spaziali, funzionali e ambientali che caratterizzano quello specifico insediamento, includendo aspetti quali la varietà morfo-ti-

pologica, la continuità e permeabilità degli spazi pubblici, la presenza di polarità funzionali e la stratificazione storica delle preesistenze (utilizziamo qui il concetto di complessità dell'ambiente urbano ben espresso in Alexander et al., 1977). Per superare questa limitazione si è implementata una griglia morfologica derivata dall'analisi del tessuto urbano adiacente. Questa griglia, costruita attraverso un'analisi delle maglie viarie, degli allineamenti edilizi e delle connessioni pedonali, è stata inserita come vincolo di orientamento volumetrico. Lo scopo è quello di imprimere una direzione al processo generativo favorendo la produzione di soluzioni progettuali più in sintonia con il contesto, più vicine cioè al rispetto del patrimonio territoriale (Magnaghi, 2010) che concretizza i rapporti storici fra le diverse fasi di trasformazioni che hanno dialogato nell'area, nel corso del tempo (pur nei limiti di una sperimentazione che è in questo senso non approfondita).

Proposta	Ore sole solstizio inverno	Ore sole solstizio estate	Microclima ⁴	Vento sulla copertura	SUL fabbricati
1	3,5% ≥ 8 ore di sole 96,7% < 8 ore di sole	76,4% ≥ 8 ore di sole 23,6% < 8 ore di sole	1% sup 10-15 C° 6% sup 15-20 C° 33% sup 20-25 C° 60% sup 30-35 C°	97% vento leggero 3% vento medio 0% vento forte	62.629 m²
2	3,4% ≥ 8 ore di sole 96,6% < 8 ore di sole	75,2% ≥ 8 ore di sole 24,8% < 8 ore di sole	1% sup 10-15 C° 5% sup 15-20 C° 26% sup 20-25 C° 68% sup 30-35 C°	91% vento leggero 9% vento medio 0% vento forte	73.510 m²
3	5% ≥ 8 ore di sole 95% < 8 ore di sole	78,9% ≥ 8 ore di sole 21,1% < 8 ore di sole	1% sup 10-15 C° 7% sup 15-20 C° 29% sup 20-25 C° 64% sup 30-35 C°	93% vento leggero 7% vento medio 0% vento forte	49.789 m²

Tabella dei valori risultanti dalle analisi effettuate con Autodesk Forma sulle proposte progettuali generate.

Fonte: Martino, B. (2024). L'intelligenza artificiale e il suo ruolo nella progettazione urbana. Tesi di laurea magistrale, Università degli Studi di Firenze, Dipartimento di Architettura.
Tab. 1

Con questo vincolo il software ha generato tre proposte progettuali, successivamente analizzate e confrontate (vedi tabella 1).

I criteri di valutazione sono stati:

1. comportamento degli edifici rispetto all'esposizione solare, durante il solstizio d'estate e d'inverno;
2. analisi delle condizioni microclimatiche, per calcolare la temperatura percepita nell'area;
3. valutazione dell'effetto dei venti all'interno del sito, al fine di garantire il comfort pedonale.

Le analisi hanno confermato come il software sia in grado di produrre soluzioni con prestazioni ambientali omogenee e conformi agli standard, anche in presenza di vincoli complessi derivati dalla griglia, dimostrando così la possibilità di mantenere elevate prestazioni microclimatiche senza compromettere la coerenza urbanistica delle proposte generate.

In questa condizione di limitata differenziazione delle soluzioni rispetto ai risultati del processo di generazione, l'analisi delle similitudini e delle criticità tra le opzioni ha rappresentato un passo fondamentale per la definizione dello schema finale, come illustrato nella tabella 1 basata sui risultati delle simulazioni.

Sebbene non sia possibile commentare qui ogni elemento di comparazione, si evidenzia che, pur non eccellendo in ogni singolo parametro, la prima proposta progettuale ha offerto un equilibrio ottimale tra illuminazione naturale, comfort termico e superficie utile lorda. È però a questo punto importante sottolineare che, allo stato attuale, Forma non è in grado di generare soluzioni progettuali che integrino tutti gli elementi che un piano attuativo può richiedere. Nel caso specifico, infatti, uno



Soluzione progettuale finale derivata dalla sintesi dei tre modelli generati dall'intelligenza artificiale di Autodesk Forma.

Fonte: Martino, B. (2024). L'intelligenza artificiale e il suo ruolo nella progettazione urbana. Tesi di laurea magistrale, Università degli Studi di Firenze, Dipartimento di Architettura.

Fig. 4

degli obiettivi chiave del concorso era la predisposizione di spazi sociali, ma la limitazione del software nel distinguere le diverse aree funzionali oltre la dicotomia verde-costruito, ha rappresentato un ostacolo significativo per il raggiungimento di tale obiettivo in modo automatizzato. Di conseguenza il ruolo dell'architetto rimane centrale nella definizione e disposizione degli spazi sociali (o più in generale di tutto ciò che sfugge alla dicotomia sopra evidenziata), garantendo il soddisfacimento delle specifiche richieste.

La sperimentazione suggerisce che l'adozione di flussi ibridi, dove l'intelligenza artificiale fornisce soluzioni preliminari e il progettista esercita un controllo critico e creativo, rappresenta una strategia promettente per superare i limiti attuali e valorizzare le potenzialità del design generativo. Alla luce di queste considerazioni la soluzione

finale, illustrata qui sotto (Fig.4), è un'evoluzione naturale della prima proposta progettuale, arricchita dall'ottimizzazione degli spazi destinati al social housing così come anche ripresi da elementi contenuti nella seconda e nella terza proposta generate dal programma. Il percorso sviluppato ha integrato strumenti di AI in un approccio che, pur non rientrando nel concetto tecnico di apprendimento assistito in ambito di Machine Learning, si estende al processo progettuale nel suo complesso.

Di seguito è possibile verificare la soluzione finale accompagnata dalla tabella riassuntiva delle analisi ambientali.

Per concludere il percorso di sperimentazione, abbiamo deciso di testare i nuovi generatori di immagini basati su input testuali (prompt), realizzando così una rappresentazione foto-realistica. Quest'ultimo elemento non è stato il cen-

Ore sole solstizio inverno	Ore sole solstizio estate	Microclima	Vento sulla copertura	SUL fabbricati
4% ≥ 8 ore di sole 96% < 8 ore di sole	77,5% ≥ 8 ore di sole 22,5% < 8 ore di sole	1% sup 10-15 C° 7% sup 15-20 C° 34% sup 20-25 C° 58% sup 30-35 C	98% vento leggero 2% vento medio 0% vento forte	55.321 m²

Tabella riassuntiva dei risultati derivanti dalla combinazione delle proposte progettuali generate.

Fonte: Martino, B. (2024). L'intelligenza artificiale e il suo ruolo nella progettazione urbana. Tesi di laurea magistrale, Università degli Studi di Firenze, Dipartimento di Architettura.
Tab. 2

tro della sperimentazione, ma corrisponde comunque al tentativo di utilizzare strumenti basati sull'AI oggi disponibili sul mercato e accessibili per tutti i professionisti, per una fase di prefigurazione dei risultati. Corrisponde per altro alla necessità, evidente in un progetto urbano ancorché allo stato di piano attuativo, di non esaurirsi in una serie di schemi planimetrici che hanno un valore comunicativo solo per esperti all'interno di un processo di decisione tecnico, ma di aprirsi alla comprensione degli esiti di scelte politiche tecnicamente assistite (secondo una nota lettura dell'urbanistica di Francesco Indovina) e quindi condivise fuori dal ristretto novero di *policy makers* e urbanisti.

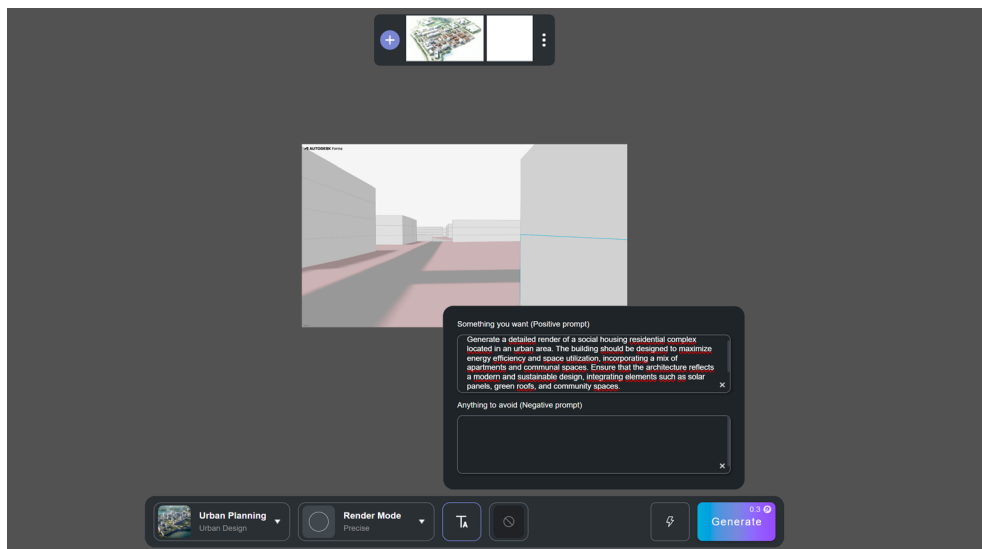
Evidentemente nel nostro caso non discutiamo di una proposta architettonica finalizzata alla restituzione dettagliata dello spazio, ma nonostante questo l'elaborazione di scenari da parte di un progettista non è mai un mero esercizio di stile, rappresenta piuttosto uno strumento creativo utile per comprendere e comunicare le potenzialità del progetto, soprattutto in un piano attuativo che dovrebbe essere soggetto ad un dibattito pubblico. Lo scopo è stato dunque quello di esplorare le potenzialità offerte dagli strumenti di generazione di immagini, combinando diverse tecnologie di AI per ottenere rappresentazioni che rendano visivamente tangibile il progetto anche fuori da una lettura prettamente di tecnica urbanistica.

Forma consente di catturare lo spazio proposto come modello tridimensionale e su questa base è stata condotta la sperimentazione, i cui risultati sono riportati nelle immagini seguenti (Fig.5 e Fig.6).

3.1.4 Il confronto con il progetto ufficiale

Come riportato in precedenza le linee guida del concorso miravano ad un insediamento con mix funzionale e ad alta efficienza energetica. Per rispondere a questi requisiti il team di progettisti vincitori ha proposto un modello insediativo organizzato attorno a un asse connettivo centrale che struttura una griglia ordinata di strade secondarie, stabilendo così un ritmo costante tra gli spazi aperti e quelli edificati.

Nel dettaglio il piano prevede la demolizione della maggior parte delle strutture esistenti per una superficie lorda di circa 33.000 m²; un'allocazione totale di 53.000 m² suddivisi per la maggior parte in 36.000 per attività commerciali e residenziali, 2.000 per il settore industriale e 11.000 per spazi di accoglienza e attività private. In sintesi, l'idea progettuale si concentra sulla creazione di un nuovo complesso multifunzionale, in cui il social housing rappresenta oltre il 68% dell'area edificabile, affiancato da spazi per attività produttive e artigianali, nonché per servizi privati. Le altezze degli edifici variano da 3 a 5 piani, con alcune eccezioni per strutture speciali che raggiungono 8 piani⁵.



Importazione immagine tridimensionale in PromeAi per la generazione di un concept render preliminare.

Fonte: Martino, B. (2024). L'intelligenza artificiale e il suo ruolo nella progettazione urbana. Tesi di laurea magistrale, Università degli Studi di Firenze, Dipartimento di Architettura.

Fig. 5

Render realizzato con Stable Diffusion V.2.1

Fonte: Martino, B. (2024). L'intelligenza artificiale e il suo ruolo nella progettazione urbana. Tesi di laurea magistrale, Università degli Studi di Firenze, Dipartimento di Architettura.

Fig. 6

Risultati ottenuti con l'utilizzo del Software Autodesk Forma per la progettazione dell'area ex caserma Lupi di Toscana.

Fonte: Martino, B. (2024). L'intelligenza artificiale e il suo ruolo nella progettazione urbana. Tesi di laurea magistrale, Università degli Studi di Firenze, Dipartimento di Architettura.

Tab. 3

Risultati ottenuti dal progetto vincitore ex caserma Lupi di Toscana senza l'utilizzo di strumenti di intelligenza artificiale generativa.

Fonte: Martino, B. (2024). L'intelligenza artificiale e il suo ruolo nella progettazione urbana. Tesi di laurea magistrale, Università degli Studi di Firenze, Dipartimento di Architettura.

Tab. 4

Per valutare le prestazioni del progetto formulato mediante l'utilizzo di Forma è stato effettuato un confronto tra le due soluzioni mediante l'uso di una griglia di lettura basata su criteri definiti per il piano dalla pubblica amministrazione. Di seguito vengono riportate due tabelle, partendo dall'analisi del progetto sviluppato mediante AI.

L'impiego di strumenti di AI ha prodotto risultati interessanti, soprattutto in relazione alla valutazione dell'impatto ambientale delle proposte. Allo stesso tempo emerge che molti degli schemi generati non riescono a considerare pienamente il tessuto urbano esistente.

Attualmente il design generativo presenta alcune limitazioni poiché non è in grado di integrare in modo efficace le caratteristiche morfologiche dell'area circostante. Questo problema è stato riscontrato anche in altri casi noti in letteratura, come nell'esperienza di Alkmaar dove è stato impiegato l'algoritmo NSGA-II. Inoltre, nella sperimentazione condotta non è stato possibile modificare alcuni parametri di input cruciali, come il rapporto tra aree verdi ed edificabili. Evidentemente senza una guida basata su una griglia morfologica che tenga conto del palinsesto urbano questi strumenti tendono a generare una grande varietà di schemi che però risultano isolati dal contesto.

Per quanto riguarda il progetto vincitore del concorso l'applicazione della stessa griglia permette di evidenziare alcune considerazioni.

Il progetto di concorso ha seguito un percorso di progettazione tradizionale, mettendo in evidenza l'importanza di adattare la visione architettonica a un contesto urbano consolidato. Questo percorso si articola attraverso diverse fasi decisionali, non è lineare, ma rappresenta un viaggio complesso che richiede pazienza, perseveranza e una profonda comprensione delle problematiche da affrontare.

Tale approccio implica un'analisi approfondita del territorio, considerando la sua storia, cultura, ambiente e dinamiche sociali. Questi aspetti, fondamentali per una progettazione integrata, non sono ancora adeguatamente affrontati dagli strumenti di AI, come dimostrato dai limiti riscontrati nella generazione degli schemi progettuali.

4. Conclusioni

L'obiettivo di questo studio è stato esplorare la possibilità di elaborare un progetto urbanistico utilizzando esclusivamente strumenti computazionali. I modelli adottati hanno consentito di analizzare sia le potenzialità che le limitazioni di tali strumenti, confrontato un'esperienza di progettazione semi-automatizzata con un pro-

Voci	Parametri	Obiettivi	Risultati
Benessere ambientale	Sostenibilità ambientale	Promuovere l'uso di materiali ecologici e a basso impatto ambientale	Verifica dell'impatto ambientale e della quantità di energia elettrica utilizzabile da fonti rinnovabili (e non)
	Comfort abitativo	Garantire la progettazione di edifici con ottima qualità d'illuminazione naturale, esposizione al vento e basso inquinamento acustico	Le analisi condotte permettono di scegliere le proposte che più rispondono a tali obiettivi
	Analisi energetica	Ottimizzare i consumi	Analisi condotte con gli strumenti messi a disposizione da Forma
Estetica e design	Adattabilità al contesto urbano	Capacità del progetto di adattarsi a, ed integrarsi con, il paesaggio circostante	Senza l'intervento dell'operatore (progettista) il sistema non è stato in grado di comprendere a pieno il palinsesto territoriale
Funzionalità ed utilità	Utilizzo dello spazio	Ottimizzare l'uso dello spazio per una migliore funzionalità	La corretta gestione degli spazi è stata ottenuta grazie agli input inseriti dall'operatore
	Accessibilità	Garantire facilità di accesso a tutte le aree	Le soluzioni proposte facilitano l'accesso alle aree progettate grazie all'implementazione delle informazioni geografiche inizialmente richieste dal software
Economicità	Costi iter progettuale	Minimizzare i costi dell'iter progettuale	Costi caratterizzati dall'utilizzo di piattaforme di AI
Coinvolgimento stakeholder	Coinvolgimento del cliente	Coinvolgere la comunità nelle decisioni progettuali	Durante lo svolgimento del progetto è possibile condividere e modificare rapidamente lo stato avanzamento

Voci	Parametri	Obiettivi	Risultati
Benessere ambientale	Sostenibilità ambientale	Promuovere l'uso di materiali ecologici e a basso impatto ambientale	Spazio verde lineare che contribuisce a regolazione microclima e assorbimento di CO2
	Comfort abitativo	Garantire la progettazione di edifici con ottima qualità d'illuminazione naturale, esposizione al vento e basso inquinamento acustico	Aspetto non menzionato nel piano particolareggiato
	Analisi energetica	Ottimizzare i consumi	Il progetto si pone l'obiettivo del raggiungimento di una buona efficienza energetica degli edifici
Estetica e design	Adattabilità al contesto urbano	Capacità del progetto di adattarsi a, ed integrarsi con, il paesaggio circostante	Il progetto si adatta al contesto mediante l'utilizzo di direttrici storiche e la valorizzazione dello spazio aperto
Funzionalità ed utilità	Utilizzo dello spazio	Ottimizzare l'uso dello spazio per una migliore funzionalità	Viene minimizzata l'interferenza tra spazio pubblico e spazio dei trasporti
	Accessibilità	Garantire facilità di accesso a tutte le aree	Si prevede un alto grado di integrazione tra le diverse modalità di trasporto, per l'obiettivo della massima accessibilità
Economicità	Costi iter progettuale	Minimizzare i costi dell'iter progettuale	Non menzionati nei documenti di piano
Coinvolgimento stakeholder	Coinvolgimento del cliente	Coinvolgere la comunità nelle decisioni progettuali	Si tratta di un progetto di concorso, fasi di partecipazione sono state precedenti o comunque non direttamente parte dell'iter di ideazione

cesso tradizionale, prevalentemente attraverso la piattaforma Autodesk Forma, integrata da generatori di immagini basati su testo.

Un primo aspetto emerso è la capacità della pianificazione computazionale di generare rapidamente molteplici soluzioni; tuttavia, la qualità degli spazi prodotti non riesce a cogliere la complessità del tessuto urbano esistente. Per mitigare questa criticità abbiamo implementato una griglia morfologica che ha guidato il software, introducendo vincoli relazionali per mantenere un legame con il contesto. Le analisi ambientali, condotte tramite strumenti di AI, hanno confermato come il software sia in grado di produrre soluzioni con prestazioni omogenee e conformi agli standard, anche in presenza di vincoli complessi, dimostrando così la possibilità di mantenere elevate prestazioni microclimatiche senza compromettere la coerenza urbanistica. Persistono tuttavia limiti nel generare proposte che rispettino con precisione parametri urbanistici complessi, come il rapporto qualitativo tra aree verdi ed edificabili, dove le prime non siano solo il risultato di calcoli dimensionali, ma spazio pubblico connettivo; o il soddisfacimento di altri elementi specifici, come nel nostro caso gli interventi tesi a garantire aspetti sociali del nuovo insediamento.

Relativamente all'utilizzo dei generatori di immagini risulta evidente che non possano produrre direttamente soluzioni progettuali operative, in quanto si basano su database generalisti e dunque (e ovviamente) ignorano le specificità locali. Possono però essere utili nelle fasi

preliminari di progettazione per esplorare rapidamente idee e suggestioni visive, a patto di investire tempo e competenze nella personalizzazione dei modelli e nella costruzione di prompt mirati.

Dalla nostra esperienza, seppur basata su un test semplice e limitato, emerge che le immagini migliori vengono generate con software open-source, come nel nostro caso Stable Diffusion. Questo proprio perché consente un alto grado di personalizzazione attraverso modelli, plugin e un'attenta elaborazione dei prompt, ma anche per la grande quantità di immagini generate dalla community. I limiti di questi software rappresentano una sfida per la progettazione: da un lato, un utilizzo mirato offre un enorme potenziale, dall'altro, le soluzioni più immediate tendono a essere generiche. L'investimento iniziale in formazione e sperimentazione è inevitabile.

Va infine sottolineato che il progetto da noi sviluppato non ha tenuto conto di processi di consultazione o partecipazione diretta degli abitanti. Analogamente però il progetto di concorso, se pure ha avuto alcuni input e la valutazione delle proposte sottomesse ha tenuto conto di elementi emersi nel dibattito locale, è stato sviluppato da concorrenti anonimi fino alla data della valutazione e quindi non in un confronto con la società locale. Non possiamo dunque proporre considerazioni precise su come l'uso dell'AI possa rendere più o meno efficace un percorso di co-progettazione (tema di sicuro interesse e che varrebbe la pena sviluppare), sebbene sia

evidente come la rapidità nel generare varianti e scenari possa rappresentare un supporto rilevante in contesti partecipativi.

In conclusione abbiamo visto come l'uso di sistemi generativi possa aprire nuove prospettive, ma seguendo l'esperienza qui descritta possiamo affermare che i modelli computazionali devono restare strumenti di supporto alla creatività e al discernimento umano. Alla base del buon progettare vi è innanzitutto la capacità di empatizzare con il paesaggio circostante, ma ancor più centrale è il ruolo etico e sociale della disciplina urbanistica, la sua natura morale (Ferraro, 1996). La capacità degli architetti di narrare attraverso le loro scelte è un'abilità che le macchine non possono, allo stato attuale, né replicare, né comprendere. Questa capacità è intrinsecamente etica, poiché ogni decisione progettuale, dalla scelta dei materiali alla configurazione degli spazi, contribuisce a creare un'esperienza unica per chi vi entra in contatto. Il risultato in termini spaziali diventa uno degli elementi costitutivi di quella che Paba definiva felicità pubblica (Paba, 2012). Peraltro è bene ricordare che i processi creativi alla base della progettazione si basano sulla generazione di molte possibilità, seguita da una rigorosa selezione, si tratta dunque di processi stocastici ed evolutivi (Bateson, 1979). In questo quadro gli strumenti di AI testati non sono tanto generatori di soluzioni ottimali, quanto meccanismi di valutazione e selezione. In termini logici potremmo definirli strumenti di retroazione negativa (cioè regolativa) (Waddington, 1977), molto utili, ma non propria-

mente creativi nel senso qui delineato (per una revisione sistematica della letteratura recente sulla creatività nel contesto del progetto di architettura Casakin, Wodehouse, 2021).

Questa esperienza di ricerca dunque ribadisce ed enfatizza il ruolo insostituibile del progettista. L'architetto non è soltanto un risolutore di problemi, ma un narratore di spazi e significati. Nelle sue mani gli strumenti di design generativo possono offrire un valido e prezioso supporto al processo progettuale, ma non possono sostituire la visione, l'intuizione e l'empatia. Il valore del progettista risiede dunque nella capacità di integrare le possibilità offerte dalla tecnologia con la sensibilità necessaria a creare luoghi che contribuiscono al benessere ed all'identità per la comunità.

Note

¹Controllando le pubblicazioni presenti nel database Scopus, con parole chiave AI e pianificazione urbana o progettazione urbana si ottengono in totale, negli ultimi dieci anni, due articoli su rivista ed un capitolo su libro collettaneo di autori con affiliazione italiana, ma nessuno pubblicato in Italia. A questi si aggiungono un articolo in italiano reperito su Urbanistica Informazioni (Mascarucci, Bocca, 2024).

²Da una ricerca analoga a quanto illustrato alla nota 1 è emerso un unico articolo, per altro non esattamente assimilabile al tema qui trattato (Berčič et al., 2024).

³Autodesk ci ha concesso una prova gratuita del software, con l'obiettivo di mostrare le sue possibilità e di raccogliere feedback per eventuali implementazioni futuri. Di tale possibilità gli autori ringraziano.

⁴Viene calcolato di default nel giorno dell'equinozio di primavera.

⁵Tutte le informazioni provengono dalla Relazione Urbanistica presente nel regolamento urbanistico del comune di Firenze.

Bibliografia

- Aggarwal, C. C. 2023, *Neural Networks and Deep Learning: A Textbook*, Springer, Cham.
- Alexander, C., Ishikawa, S., Silverstein, M. 1977, *A pattern language: towns, buildings, construction*, Oxford university press, New York.
- Alloghani, M., Al-Jumeily, D., Mustafina, J., Hussain, A., Aljaaf, A.J. 2020, *A Systematic Review on Supervised and Unsupervised Machine Learning Algorithms for Data Science*, in M.W. Berry, A. Mohamed, B.W. Yap (a cura di), *Supervised and Unsupervised Learning for Data Science*, Springer, Cham.
- Basu, P., Talwar, P., As, I. (a cura di) 2022, *Artificial Intelligence in Urban Planning and Design: Technologies, Implementation, and Impacts*, Elsevier, Amsterdam.
- Bateson, G. 1979, *Mind and Nature: A Necessary Unity*, Fontana/Collins, Glasgow.
- Berčič, T., Bohanec, M., Ažman Momirski, L. 2024, *Integrating Multi-Criteria Decision Models in Smart Urban Planning: A Case Study of Architectural and Urban Design Competitions*, «Smart Cities», 7, 2, pp. 786-805, 10.3390/smartcities7020033.
- Carmona, M. (a cura di), 2010, *Public Places, Urban Spaces: The Dimensions of Urban Design*, Routledge, London.
- Casakin, H., Wodehouse, A. 2021, *A Systematic Review of Design Creativity in the Architectural Design Studio*, «Buildings», 11(1), 31, doi.org/10.3390/buildings11010031.
- Dalton, C.M. 2015, *For Fun and Profit: The Limits and Possibilities of Google-Maps-based Geoweb Applications*, «Environment and Planning A», 47, 5, pp. 1029-1046, 10.1177/0308518X15592302.
- Dematteis, G. 1985, *Le Metafore Della Terra: La Geografia Umana Tra Mito e Scienza*, Feltrinelli, Milano.
- Dodge, M., Kitchin, R. 2012, *Mapping Experience: Crowdsourced Cartography*, «Environment and Planning A», 10.2139/SSRN.1921340.
- Eloy, S., Kreutzberg, A., Symeonidou, I. (a cura di) 2022, *Virtual Aesthetics in Architecture: Designing in Mixed Realities*, Taylor & Francis, New York, London.
- Farinelli, F. 2004, *Sui Tipi Non Cartografabili*, in: *Atlante Dei Tipi Geografici*, Istituto Geografico Militare, Firenze, pp. 77-79.
- Ferraro, G. 1996, *Mappe e Sentieri. Una Introduzione Alle Teorie Della Pianificazione*, «CRU - Critica della Razionalità Urbanistica», 6, pp. 52-63.
- Fogel, L. 1964, *On the Organization of Intellect*, University of California, Los Angeles.
- Fogel, L.J., Owens, A.J., Walsh, M.J. 1966, *Artificial Intelligence through Simulated Evolution*, J. Wiley, New York.
- Gehl, J. 2010, *Cities for People*, Island Press, Washington.
- Gill, P.E., Murray, W., Saunders, M.A., Tomlin, J.A., Wright, M.H. 2008, *George B. Dantzig and Systems Optimization*, «Discrete Optimization», 5, 2, pp. 151-158, 10.1016/j.disopt.2007.01.002.
- Harris, B., Batty, M. 1993, *Locational Models, Geographic Information and Planning Support Systems*, «Journal of Planning Education and Research», 12, 3, pp. 184-198, 10.1177/0739456X9301200302.
- IBM, *Cosa Sono Le Reti Neurali Convolutionali?*, <URL: <https://www.ibm.com/it-it/think/topics/convolutional-neural-networks>> (2/25)
- Jiang, F., Ma, J., Webster, C.J., Li, X., Gan, V.J. 2023, *Building Layout Generation Using Site-Embedded GAN Model*, «Automation in Construction», 151, 10.1016/j.autcon.2023.104888.
- Langella, C., Scodeller, D., Dal Buono, V. 2017, *Design Parametrico e Generativo: Nuove Prospettive Di Ricerca*, «MD Journal», 3, pp. 6-13.
- LeCun, Y., Bengio, Y., Hinton, G. 2015, *Deep Learning*, «Nature», 521, 7553, pp. 436-444, 10.1038/nature14539.

- Magnaghi, A. 2010, *Il progetto locale: verso la coscienza di luogo*, Bollati Boringhieri, Torino.
- Mahes, B. 2020, *Machine Learning Algorithms - A Review*, «International Journal of Science and Research», 9, 1, pp. 381-386, 10.21275/ART20203995.
- Mascarucci, R., Bocca, A. 2024, *Progetto urbanistico e decisione algoritmica. Le nuove sfide disciplinari nell'epoca dell'intelligenza artificiale*. «Urbanistica Informazioni», 315, <https://doi.org/10.62661/ui315-2024-065>.
- McCarthy, J. 2008, *What is Artificial Intelligence?*, Computer Science Department Stanford University, Palo Alto, CA, <URL: www-formal.stanford.edu/jmc/whatisai> (2/25)
- Minsky, M. 1961, *Steps toward Artificial Intelligence*, «Proceedings of the IRE», 49, 1, pp. 8-30, 10.1109/JRPROC.1961.287775.
- Minsky, M. 1988, *The Society of Mind*, Simon & Schuster., New York.
- Mitchel, T. 1997, *Machine Learning*, McGraw Hill, New York.
- Montjoy, V. 2023, *What Is the Future Role of Architects in the Age of AI and Data?*, «ArchDaily», <URL: <https://www.archdaily.com/995781/what-is-the-future-role-of-architects-in-the-age-of-ai-and-data>> (2/25).
- Nasteski, V. 2017, *An Overview of the Supervised Machine Learning Methods*, «Horizons», 4, pp. 51-62.
- Nebuloni, A., Rossi, A. 2017, *Codice e progetto : il computazionale design tra architettura, design, territorio, rappresentazione, strumenti, materiali e nuove tecnologie*, Mimesis, Milano.
- Newton, D. 2019, *Deep Generative Learning for the Generation and Analysis of Architectural Plans with Small Datasets*, «Proceedings of 37 eCAADe and XXIII SIGraDi Joint Conference», Blucher, Porto, 10.5151/proceedings-eecaadesigraDi2019\s\do5(1)35.
- Paba, G. 2012, *Felicità e Territorio. Benessere e Qualità Della Vita Nella Città e Nell'ambiente*, in A. Magnaghi (a cura di), *Il Territorio Bene Comune*, Florence University Press, Firenze.
- Plebe, A., Perconti, P. 2022, *The Future of the Artificial Mind*, CRC Press, Boca Raton.
- Rosenblatt, F. 1960, *Perceptron Simulation Experiments*, «Proceedings of the IRE», 48, 3, pp. 301-309, 10.1109/JRPROC.1960.287598.
- Söderström, O. 2000, *Des Images Pour Agir. Le Visuel En Urbanisme*, Payot, Lausanne.
- Turing, A.M. 1950, *I.-Computing Machinery and Intelligence*, Mind, LIX, 236, pp. 433-460 10.1093/mind/LIX.236.433.
- Waddington, C.H. 1977, *Strumenti per pensare: un approccio globale ai sistemi complessi*, Mondadori, Milano.
- Wan, L., Jin, Y., Echenique, M., Batty, M., Wegener, M. 2024, *From Urban Modelling to City Digital Twins - Reflections from the Applied Urban Modelling (AUM) Symposia*, «Environment and Planning B», 10.1177/23998083241279601.
- Wan, T., Ma, Y. 2022, *Urban Planning and Design Layout Generation Based on Artificial Intelligence*, «Mathematical Problems in Engineering», 2022, 1, 8976943, 10.1155/2022/8976943.
- Wiederhold, G., McCarthy, J., 1992, *Arthur Samuel: Pioneer in Machine Learning*, «IBM Journal of Research and Development», 36, 3, pp. 329-331, 10.1147/rd.363.0329.
- Zhang, X-S., 2000, *Introduction to Artificial Neural Network*, in X-S. Zhang (a cura di), *Neural Networks in Optimization*, Springer US, Boston, MA.

Lecture Readings

The Sciences of the Artificial

Simon, Herbert A.

Excerpt from ch1. Understanding the Natural and the Artificial Worlds (1996), The Sciences of the Artificial (3rd ed.). Cambridge, MA: MIT Press. ISBN 9780262193740.

Gli estratti sono riprodotti a fini accademici e didattici, nel rispetto delle normative vigenti in materia di diritto d'autore per uso scientifico e di citazione.

This article is published with Creative Commons license CC BY-SA 4.0 Firenze University Press.

DOI: 10.36253/contest-17038

Understanding the Natural and the Artificial Worlds

About three centuries after Newton we are thoroughly familiar with the concept of natural science most unequivocally with physical and biological science. A natural science is a body of knowledge about some class of things objects or phenomena in the world: about the

characteristics and properties that they have; about how they behave and interact with each other.

The central task of a natural science is to make the wonderful commonplace: to show that complexity, correctly viewed, is only a mask for simplicity; to find pattern hidden in apparent chaos. The early Dutch physicist Simon Stevin, showed by an elegant drawing (figure 1) that the law of the inclined plane follows in "self-evident fashion" from the impossibility of perpetual motion, for experience and reason tell us that the chain of balls in the figure would rotate neither to right nor to left but would remain at rest. (Since rotation changes nothing in the figure, if the

This excerpt from the first chapter of The Sciences of the Artificial (1969; 1996) by Herbert A. Simon establishes the epistemological foundations for distinguishing natural sciences from the "sciences of the artificial." While natural sciences seek hidden patterns to explain how things are, the sciences of the artificial deal with objects synthesised by human beings, characterised by functions, goals, and normative imperatives—addressing how things "ought" to be. Simon introduces the crucial concept of the artefact as an "interface" between an "inner" environment (the substance and organisation of the object itself) and an "outer" environment (the context in which it operates); the artefact's effectiveness depends on the successful adaptation of these two environments to one another. The text further explores

the role of simulation as a source of new knowledge that can reveal the hidden implications of known premises. It defines both computers and the human mind as “physical symbol systems.” According to Simon, intelligence is fundamentally the work of these systems, which can encode information, manipulate structures, and adapt to their environment.

The re-proposal of this classic text within the contemporary context of urban studies and Artificial Intelligence (PlanAIr) is driven by three fundamental reasons. First, Simon provides a critical ontological definition, reminding us that the world we inhabit is predominantly man-made. In this view, the city is the artefact *par excellence*: not a natural phenomenon to be passively observed, but a complex, designed system that must answer to human purposes, thus legitimising urban planning as a rigorous science of the artificial. Second, the vision of the artefact as a “meeting point” between inner and outer environments offers a powerful metaphor for Urban AI. Intelligent technologies in the city act as an interface between physical infrastructure and citizens’ social or environmental dynamics, requiring mutual adaptation to function effectively. Finally, as Simon’s work is foundational to symbolic Artificial Intelligence, revisiting it today allows us to grasp the theoretical roots of rule-based and logical AI. This historical perspective is crucial

for distinguishing and potentially integrating symbolic approaches with the currently dominant data-driven paradigms, thereby recovering the capacity to reason about goals, meanings, and design imperatives rather than relying solely on raw data processing.

In this article, we examine these ontological issues, discuss existing frameworks that aim to unify fragmented information, and explore the practical implications for urban AI applications. The thesis is that ontologies—structured and formal representations of knowledge—offer a powerful tool to address the challenges outlined above, while serving as a blueprint for defining, categorizing, and interrelating the entities present in urban environments and putting them to work in urban planning.

chain moved at all, it would move perpetually.) Since the pendant part of the chain hangs symmetrically, we can snip it off without disturbing the equilibrium. But now the balls on the long side of the plane balance those on the shorter, steeper side, and their relative numbers are in inverse ratio to the sines of the angles at which the planes are inclined.

Stevin was so pleased with his construction that he incorporated it into a vignette, inscribing above it

Wonder, en is gheen wonder

that is to say: “Wonderful, but not incomprehensible.”

This is the task of natural science: to show that the wonderful is not incomprehensible, to show how it can be comprehended but not to destroy wonder. For when we have explained the wonderful, unmasked the hidden pattern, a new wonder arises at how complexity was woven out of simplicity. The aesthetics of natural science and mathematics is at one with the aesthetics of music and painting both inhere in the discovery of a partially concealed pattern.

The world we live in today is much more a man-made¹ [...], or artificial, world than it is a natural world. Almost every element in our environment shows evidence of human artifice. The temperature in which we spend most of our hours is kept artificially at 20 degrees Celsius; the humidity is added to or taken from the air we breathe; and the impurities we inhale are largely produced (and filtered) by man.

Moreover for most of us the white-collared ones the significant part of the environment consists mostly of strings of artifacts called "symbols" that we receive through eyes and ears in the form of written and spoken language and that we pour out into the environment as I am now doing by mouth or hand. The laws that govern these strings of symbols, the laws that govern the occasions on which we emit and receive them, the determinants of their content are all consequences of our collective artifice.

One may object that I exaggerate the

artificiality of our world. Man must obey the law of gravity as surely as does a stone, and as a living organism man must depend for food, and in many other ways, on the world of biological phenomena. I shall plead guilty to overstatement, while protesting that the exaggeration is slight. To say that an astronaut, or even an airplane pilot, is obeying the law of gravity, hence is a perfectly natural phenomenon, is true, but its truth calls for some sophistication in what we mean by "obeying" a natural law. Aristotle did not think it natural for heavy things to rise or light ones to fall (Physics, Book IV); but presumably we have a deeper understanding of "natural" than he did.

So too we must be careful about equating "biological" with "natural." A forest may be a phenomenon of nature; a farm certainly is not. The very species upon which we depend for our food our corn and our cattle are artifacts of our ingenuity. A plowed field is no more part of nature than an asphalted street and no less. These examples set the terms of our problem, for those things we call artifacts are not apart from nature. They have no dispensation to ignore or violate natural law. At the same time they are adapted to human goals and purposes. They are what they are in order to satisfy our desire to fly or to eat well. As our aims change, so too do our artifacts and vice versa.

If science is to encompass these objects and phenomena in which human purpose

as well as natural law are embodied, it must have means for relating these two disparate components. The character of these means and their implications for certain areas of knowledge economics, psychology, and design in particular are the central concern of this book.

The Artificial

Natural science is knowledge about natural objects and phenomena. We ask whether there cannot also be “artificial” science knowledge about artificial objects and phenomena. Unfortunately the term “artificial” has a pejorative air about it that we must dispel before we can proceed [...]

Hence a science of the artificial will be closely akin to a science of engineering but very different, as we shall see in my fifth chapter, from what goes currently by the name of “engineering science.”

With goals and “oughts” we also introduce into the picture the dichotomy between normative and descriptive. Natural science has found a way to exclude the normative and to concern itself solely with how things are. Can or should we maintain this exclusion when we move from natural to artificial phenomena, from analysis to synthesis?²

We have now identified four indicia that distinguish the artificial from the natural; hence we can set the boundaries for sciences of the artificial:

1. Artificial things are synthesized (though not always or usually with full forethought) by human beings.
2. Artificial things may imitate appearances in natural things while lacking, in one or many respects, the reality of the latter.
3. Artificial things can be characterized in terms of functions, goals, adaptation.
4. Artificial things are often discussed, particularly when they are being designed, in terms of imperatives as well as descriptives.

[...]

The Artifact As “Interface”

We can view the matter quite symmetrically. An artifact can be thought of as a meeting point an “interface” in today’s terms between an “inner” environment, the substance and organization of the artifact itself, and an “outer” environment, the surroundings in which it operates. If the inner environment is appropriate to the outer environment, or vice versa, the artifact will serve its intended purpose. Thus, if the clock is immune to buffeting, it will serve as a ship’s chronometer. (And conversely, if it isn’t, we may salvage it by mounting it on the mantel at home.)

Notice that this way of viewing artifacts applies equally well to many things that are not man-made to all things in fact that can be regarded as adapted to some situation; and in particular it applies to the living systems

that have evolved through the forces of organic evolution. A theory of the airplane draws on natural science for an explanation of its inner environment (the power plant, for example), its outer environment (the character of the atmosphere at different altitudes), and the relation between its inner and outer environments (the movement of an air foil through a gas). But a theory of the bird can be divided up in exactly the same way.

Given an airplane, or given a bird, we can analyze them by the methods of natural science without any particular attention to purpose or adaptation, without reference to the interface between what I have called the inner and outer environments. After all, their behavior is governed by natural law just as fully as the behavior of anything else (or at least we all believe this about the airplane, and most of us believe it about the bird).

Understanding by Simulating

Artificiality connotes perceptual similarity but essential difference, resemblance from without rather than within. In the terms of the previous section we may say that the artificial object imitates the real by turning the same face to the outer system, by adapting, relative to the same goals, to comparable ranges of external tasks. Imitation is possible because distinct physical systems can be organized to exhibit nearly identical behavior. The damped spring and the damped circuit obey the same second-

order linear differential equation; hence we may use either one to imitate the other.

Techniques of Simulation

Because of its abstract character and its symbol manipulating generality, the digital computer has greatly extended the range of systems whose behavior can be imitated. Generally we now call the imitation "simulation," and we try to understand the imitated system by testing the simulation in a variety of simulated, or imitated, environments.

Simulation, as a technique for achieving understanding and predicting the behavior of systems, predates of course the digital computer. The model basin and the wind tunnel are valued means for studying the behavior of large systems by modeling them in the small, and it is quite certain that Ohm's law was suggested to its discoverer by its analogy with simple hydraulic phenomena.

Simulation may even take the form of a thought experiment, never actually implemented dynamically. One of my vivid memories of the Great Depression is of a large multi colored chart in my father's study that represented a hydraulic model of an economic system (with different fluids for money and goods). The chart was devised by a technocratically inclined engineer named Dahlberg. The model never got beyond the pen-and-paint stage at that time, but it could be used to trace through the imputed consequences of particular economic

measures or events provided the theory was right!³ [...]

As my formal education in economics progressed, I acquired a disdain for that naive simulation, only to discover after World War II that a distinguished economist, Professor A. W. Phillips had actually built the Moniac, a hydraulic model that simulated a Keynesian economy [...].⁴ Of course Professor Phillips's simulation incorporated a more nearly correct theory than the earlier one and was actually constructed and operated two points in its favor. However, the Moniac, while useful as a teaching tool, told us nothing that could not be extracted readily from simple mathematical versions of Keynesian theory and was soon priced out of the market by the growing number of computer simulations of the economy.

Simulation As a Source of New Knowledge

This brings me to the crucial question about simulation: How can a simulation ever tell us anything that we do not already know? The usual implication of the question is that it can't. As a matter of fact, there is an interesting parallelism, which I shall exploit presently, between two assertions about computers and simulation that one hears frequently:

1. A simulation is no better than the assumptions built into it.
2. A computer can do only what it is programmed to do.

I shall not deny either assertion, for both seem to me to be true. But despite both assertions simulation can tell us things we do not already know.

There are two related ways in which simulation can provide new knowledge one of them obvious, the other perhaps a bit subtle. The obvious point is that, even when we have correct premises, it may be very difficult to discover what they imply. All correct reasoning is a grand system of tautologies, but only God can make direct use of that fact. The rest of us must painstakingly and fallibly tease out the consequences of our assumptions.

Thus we might expect simulation to be a powerful technique for deriving, from our knowledge of the mechanisms governing the behavior of gases, a theory of the weather and a means of weather prediction. Indeed, as many people are aware, attempts have been under way for some years to apply this technique. Greatly oversimplified, the idea is that we already know the correct basic assumptions, the local atmospheric equations, but we need the computer to work out the implications of the interactions of vast numbers of variables starting from complicated initial conditions. This is simply an extrapolation to the scale of modern computers of the idea we use when we solve two simultaneous equations by algebra. This approach to simulation has numerous applications to engineering design. For it is typical of many kinds of design problems that

the inner system consists of components whose fundamental laws of behavior mechanical, electrical, or chemical are well known. The difficulty of the design problem often resides in predicting how an assemblage of such components will behave.
[...]

The Computer As Artifact

No artifact devised by man is so convenient for this kind of functional description as a digital computer. It is truly protean, for almost the only ones of its properties that are detectable in its behavior (when it is operating properly!) are the organizational properties. The speed with which it performs its basic operations may allow us to infer a little about its physical components and their natural laws; speed data, for example, would allow us to rule out certain kinds of “slow” components. For the rest, almost no interesting statement that one can make about an operating computer bears any particular relation to the specific nature of the hardware. A computer is an organization of elementary functional components in which, to a high approximation, only the function Page 18 performed by those components is relevant to the behavior of the whole system.⁵

Computers As Abstract Objects

This highly abstractive quality of computers makes it easy to introduce mathematics into the study of their theory and has led

some to the erroneous conclusion that, as a computer science emerges, it will necessarily be a mathematical rather than an empirical science. Let me take up these two points in turn: the relevance of mathematics to computers and the possibility of studying computers empirically.

Some important theorizing, initiated by John von Neumann, has been done on the topic of computer reliability. The question is how to build a reliable system from unreliable parts. Notice that this is not posed as a question of physics or physical engineering. The components engineer is assumed to have done his best, but the parts are still unreliable! We can cope with the unreliability only by our manner of organizing them.

To turn this into a meaningful problem, we have to say a little more about the nature of the unreliable parts. Here we are aided by the knowledge that any computer can be assembled out of a small array of simple, basic elements. For instance, we may take as our primitives the so-called Pitts-McCulloch neurons. As their name implies, these components were devised in analogy to the supposed anatomical and functional characteristics of neurons in the brain, but they are highly abstracted. They are formally isomorphic with the simplest kinds of switching circuits “and” “or,” and “not” circuits. We postulate, now, that we are to build a system from such elements and that each elementary part has a specified probability of

functioning correctly. The problem is to arrange the elements and their interconnections in such a way that the complete system will perform reliably.

The important point for our present discussion is that the parts could as well be neurons as relays, as well relays as transistors. The natural laws governing relays are very well known, while the natural laws governing neurons are known most imperfectly. But that does not matter, for all that is relevant for the theory is that the components have the specified level of unreliability and be interconnected in the specified way.

This example shows that the possibility of building a mathematical theory of a system or of simulating that system does not depend on having an adequate micro theory of the natural laws that govern the system components. Such a micro theory might indeed be simply irrelevant.

Computers As Empirical Objects

We turn next to the feasibility of an empirical science of computers as distinct from the solid-state physics or physiology of their componentry.⁶ As a matter of empirical fact almost all of the computers that have been designed have certain common organizational features. They almost all can be decomposed into an active processor (Babbage's "Mill") and a memory (Babbage's "Store") in combination with input and output devices.

(Some of the larger systems, somewhat in the manner of colonial algae, are assemblages of smaller systems having some or all of these components. But perhaps I may oversimplify for the moment.) They are all capable of storing symbols (program) that can be interpreted by a program-control component and executed. Almost all have exceedingly limited capacity for simultaneous, parallel activity they are basically one-thing-at-a-time systems. Symbols generally have to be moved from the larger memory components into the central processor before they can be acted upon. The systems are capable of only simple basic actions: recoding symbols, storing symbols, copying symbols, moving symbols, erasing symbols, and comparing symbols.

Since there are now many such devices in the world, and since the properties that describe them also appear to be shared by the human central nervous system, nothing prevents us from developing a natural history of them. We can study them as we would rabbits or chipmunks and discover how they behave under different patterns of environmental stimulation. Insofar as their behavior reflects largely the broad functional. The research that was done to design computer time-sharing systems is a good example of the study of computer behavior as an empirical phenomenon. Only fragments of theory were available to guide the design of a time-sharing system or to predict how a system of

a specified design would actually behave in an environment of users who placed their several demands upon it. Most actual designs turned out initially to exhibit serious deficiencies, and most predictions of performance were startlingly inaccurate.

Under these circumstances the main route open to the development and improvement of time-sharing systems was to build them and see how they behaved. And this is what was done. They were built, modified, and improved in successive stages. Perhaps theory could have anticipated these experiments and made them unnecessary. In fact it didn't, and I don't know anyone intimately acquainted with these exceedingly complex systems who has very specific ideas as to how it might have done so. To understand them, the systems had to be constructed, and their behavior observed.⁷

In a similar vein computer programs designed to play games or to discover proofs for mathematical theorems spend their lives in exceedingly large and complex task environments. Even when the programs themselves are only moderately large and intricate (compared, say, with the monitor and operating systems of large computers), too little is known about their task environments to permit accurate prediction of how well they will perform, how selectively they will be able to search for problem solutions.

Here again theoretical analysis must be accompanied by large amounts of

experimental work. A growing literature reporting these experiments is beginning to give us precise knowledge about the degree of heuristic power of particular heuristic devices in reducing the size of the problem spaces that must be searched. In theorem proving, for example, there has been a whole series of advances in heuristic power based on and guided by empirical exploration: the use of the Herbrand theorem, the resolution principle, the set-of-support principle, and so on [...].⁸

Computers and Thought

As we succeed in broadening and deepening our knowledge theoretical and empirical about computers, we discover that in large part their behavior is governed by simple general laws, that what appeared as complexity in the computer program was to a considerable extent complexity of the environment to which the program was seeking to adapt its behavior. This relation of program to environment opened up an exceedingly important role for computer simulation as a tool for achieving a deeper understanding of human behavior. For if it is the organization of components, and not their physical properties, that largely determines behavior, and if computers are organized somewhat in the image of man, then the computer becomes an obvious device for exploring the consequences of alternative organizational assumptions for human behavior. Psychology could move forward

without awaiting the solutions by neurology of the problems of component design however interesting and significant these components turn out to be.

Symbol Systems: Rational Artifacts

The computer is a member of an important family of artifacts called symbol systems, or more explicitly, physical symbol systems [...].⁹ Another important member of the family (some of us think, anthropomorphically, it is the most important) is the human mind and brain. It is with this family of artifacts, and particularly the human version of it, that we will be primarily concerned in this book. Symbol systems are almost the quintessential artifacts, for adaptivity to an environment is their whole *raison d'être*. They are goalseeking, information-processing systems, usually enlisted in the service of the larger systems in which they are incorporated.

Basic Capabilities of Symbol Systems

A physical symbol system holds a set of entities, called symbols. These are physical patterns (e.g., chalk marks on a blackboard) that can occur as components of symbol structures (sometimes called "expressions"). As I have already pointed out in the case of computers, a symbol system also possesses a number of simple processes that operate upon symbol structures processes that create, modify, copy, and destroy symbols. A

physical symbol system is a machine that, as it moves through time, produces an evolving collection of symbol structures.¹⁰ Symbol structures can, and commonly do, serve as internal representations (e.g., "mental images") of the environments to which the symbol system is seeking to adapt. They allow it to model that environment with greater or less veridicality and in greater or less detail, and consequently to reason about it. Of course, for this capability to be of any use to the symbol system, it must have windows on the world and hands, too. It must have means for acquiring information from the external environment that can be encoded into internal symbols, as well as means for producing symbols that initiate action upon the environment. Thus it must use symbols to designate objects and relations and actions in the world external to the system.

Symbols may also designate processes that the symbol system can interpret and execute. Hence the programs that govern the behavior of a symbol system can be stored, along with other symbol structures, in the system's own memory, and executed when activated.

Symbol systems are called "physical" to remind the reader that they exist as real-world devices, fabricated of glass and metal (computers) or flesh and blood (brains). In the past we have been more accustomed to thinking of the symbol systems of mathematics and logic as abstract and disembodied, leaving out of

account the paper and pencil and human minds that were required actually to bring them to life. Computers have transported symbol systems from the platonic heaven of ideas to the empirical world of actual processes carried out by machines or brains, or by the two of them working together.

Intelligence As Computation

The three chapters that follow rest squarely on the hypothesis that intelligence is the work of symbol systems. Stated a little more formally, the hypothesis is that a physical symbol system of the sort I have just described has the necessary and sufficient means for general intelligent action.

The hypothesis is clearly an empirical one, to be judged true or false on the basis of evidence. One task of chapters 3 and 4 will be to review some of the evidence, which is of two basic kinds. On the one hand, by constructing computer programs that are demonstrably capable of intelligent action, we provide evidence on the sufficiency side of the hypothesis. On the other hand, by collecting experimental data on human thinking that tend to show that the human brain operates as a symbol system, we add plausibility to the claims for necessity, for such data imply that all known intelligent systems (brains and computers) are symbol systems [...].

Notes

¹ I will occasionally use “man” as an androgynous noun, encompassing both sexes, and “he,” “his,” and “him” as androgynous pronouns including women and men equally in their scope.

² This issue will also be discussed at length in my fifth chapter. In order not to keep readers in suspense, I may say that I hold to the pristine empiricist’s position of the irreducibility of “ought” to “is,” as in chapter 3 of my *Administrative Behavior* (New York: Macmillan, 1976). This position is entirely consistent with treating natural or artificial goal-seeking systems as phenomena, without commitment to their goals. *Ibid.*, appendix. See also the well-known paper by A. Rosenbluth, N. Wiener, and J. Bigelow, “Behavior, Purpose, and Teleology,” *Philosophy of Science*, 10 (1943):18–24.

³ For some published versions of this model, see A. O. Dahlberg, *National Income Visualized* (N.Y.: Columbia University Press, 1956).

⁴ A. W. Phillips, “Mechanical Models in Economic Dynamics,” *Economica*, New Series, 17 (1950):283–305.

⁵ On the subject of this and the following paragraphs, see M. L. Minsky, *op. cit.*; then John von Neumann, “Probabilistic Logics and the Synthesis of Reliable Organisms from Unreliable Components,” in C. E. Shannon and J. McCarthy (eds.), *Automata Studies* (Princeton: Princeton University Press, 1956).

⁶ A. Newell and H. A. Simon, “Computer Science as Empirical Inquiry,” *Communications of the ACM*, 19(March 1976):113–126. See also H. A. Simon, “Artificial Intelligence: An Empirical Science,” *Artificial Intelligence*, 77(1995):95–127.

⁷ The empirical, exploratory flavor of computer research is nicely captured by the account of Maurice V. Wilkes in his 1967 Turing Lecture, “Computers Then and Now,” *Journal of the Association for Computing Machinery*, 15(January 1968):1–7.

⁸ Note, for example, the empirical data in Lawrence Wos, George A. Robinson, Daniel F. Carson, and Leon Shalla, “The Concept of Demodulation in Theorem Proving,” *Journal of the Association for Computing Machinery*, 14(October 1967):698–709, and in several of the earlier papers referenced there. See also the collection of programs in Edward Feigenbaum and Julian Feldman (eds.), *Computers and Thought* (New York: McGraw-Hill, 1963). It is common practice in the field to title papers about heuristic programs, “Experiments with an XYZ Program”.

⁹ In the literature the phrase information-processing system is used more frequently than symbol system. I will use the two terms as synonyms.

¹⁰ Newell and Simon, “Computer Science as Empirical Inquiry,” p. 116.

