

Transizione energetica dei distretti urbani. Un punto di vista per lo sviluppo di una piattaforma di supporto decisionale

RICERCA E
SPERIMENTAZIONE/
RESEARCH AND
EXPERIMENTATION

Emanuele Piaia, Valentina Frighi,
Dipartimento di Architettura, Università degli Studi di Ferrara, Italia

emanuele.piaia@unife.it
valentina.frighi@unife.it

Abstract. La Commissione Europea mira a ottenere città climaticamente neutre entro il 2050. In un quadro operativo complesso, è necessario fornire ai decisori strumenti adeguati a promuovere la transizione energetica e la resilienza delle città attraverso azioni integrate, prevedendo il coinvolgimento attivo di comunità e utenti finali. Per fronteggiare tali sfide e in continuità con gli obiettivi del Programma Nazionale per la Ricerca (PNR), si ritiene utile implementare piattaforme digitali urbane interoperabili. Il presente contributo propone quindi un punto di vista metodologico volto a guidare la pianificazione di interventi di riqualificazione consapevoli e condivisi attraverso lo sviluppo di una piattaforma di supporto decisionale, concepita come un ambiente abilitante capace di mettere a sistema dati, strumenti e linee guida per la progettazione e gestione di interventi alla scala di distretto.

Parole chiave: Piattaforma di Supporto Decisionale; Transizione energetica; Città climaticamente neutre; BIM (*Building Information Modeling*); Gemello digitale.

Introduzione

Il patrimonio edilizio esistente costituisce una delle maggiori fonti di consumo energetico in Europa, essendo responsabile di oltre un terzo delle emissioni dell'intera Unione Europea (UE) (EC, 2020b). Tuttavia, il 75% circa degli edifici dell'UE non è energeticamente efficiente, essendo responsabile di una quota pari al 40% della domanda finale di energia, nonché del 36% circa delle emissioni globali di CO₂ (Artino *et al.*, 2020). Inoltre, nonostante si stimi che l'85-95% degli edifici di oggi sarà ancora in uso nel 2050, l'attuale tasso annuale di riqualificazione energetica del costruito, in Europa, è ancora limitato, attestandosi intorno all'1% (EC, 2020b); così come, più in generale, gli interventi di *Deep Renovation*, volti cioè a ridurre il fabbisogno energetico primario di almeno il 60% (EC, 2019a), sono eseguiti annualmente soltanto in una quota pari allo 0,2%.

In tale contesto, in accordo con quanto già previsto dalle strategie del *Green Deal* (EC, 2019b) e dal più recente programma *Renovation Wave*¹ (EC, 2020b), le politiche in atto a livello Europeo

Energy transition
of urban districts.
A viewpoint for the
development of a
decision support
platform

Abstract. The European Commission aims to achieve climate-neutral cities by 2050. In such a complex operational framework, it is necessary to provide decision makers with adequate tools to promote energy transition and the resilience of cities through integrated actions, which directly involve communities and end users. To face these challenges and according to the objectives of the National Research Programme, it could be useful to implement interoperable urban digital platforms. Therefore, this contribution proposes a methodological point of view aimed at guiding the planning of shared and conscious redevelopment interventions through the implementation of a decision support platform conceived as an enabling environment capable of systematising data, tools and guidelines for the design and management of policies and interventions at the district scale.

mirano ad ottenere città "climaticamente neutre" entro il 2050, favorendo processi di decarbonizzazione del patrimonio edilizio esistente tramite programmi di riqualificazione e transizione energetica. Parallelamente, in Italia, il Piano Nazionale Integrato per l'Energia e il Clima (PNIEC) individua obiettivi, traiettorie e misure che rappresentano l'impegno del Paese nei confronti dei target europei al 2030. Va detto, però, che i cambiamenti climatici continuano a rappresentare una minaccia per le nostre città, come testimoniato dalle sempre più frequenti situazioni di rischio dovute a fenomeni meteorologici estremi, cui si aggiungono impatti anche di natura sociale legati al comportamento della popolazione, specialmente in relazione a tematiche emergenti quali la povertà e la vulnerabilità energetica, strettamente correlate alle basse *performance* energetiche degli edifici esistenti. Tali impatti sono peraltro destinati a crescere, considerando che, secondo il dossier dell'Onu "*World Urbanization Prospects*" (2018), entro il 2050 due terzi della popolazione mondiale vivrà nelle città. Pertanto, le città si configurano come il luogo ideale per affrontare l'emergenza climatica attraverso la formalizzazione e lo sviluppo concreto di metodi e strategie di decarbonizzazione replicabili, incluso l'adozione di strumenti e infrastrutture digitali, con l'obiettivo di raggiungere una condizione di *climate neutrality*.

Tecnologie digitali e strumenti di supporto decisionale

Assumere decisioni per la pianificazione, gestione e/o riqualificazione di sistemi complessi, come grandi patrimoni edilizi o vasti comparti urbani, richiede la valutazione integrata di numerosi indicatori.

Keywords: Decision Support Platform (DSP); Energy transition; Climate-neutral cities; BIM (*Building Information Modeling*); Digital Twin (DT).

Introduction

The existing building stock is one of the largest European energy consumption sources, responsible for over a third of the emissions of the entire European Union (EU) (EC, 2020b). However, approximately 75% of the existing buildings in the EU are not energy efficient and are responsible for around 40% of the final energy demand and around 36% of global CO₂ emissions (Artino *et al.*, 2020). Additionally, although it is estimated that 85-95% of today's buildings will be in use in 2050, the current annual rate of buildings' energy redevelopment in Europe is still limited at around 1% (EC, 2020b), and, more in general, the deep renovation

interventions, aimed at reducing primary energy needs by at least 60% (EC, 2019a), are carried out annually and only in an amount of 0.2%.

In this framework, in agreement with the provisions of the *Green Deal* strategies (EC, 2019b) and the more recent *Renovation Wave*¹ programme (EC, 2020b), the policies implemented at European level aim to obtain climate-neutral cities by 2050, favouring decarbonisation processes of the existing building stock through redevelopment and energy transition programmes.

In Italy, the Integrated National Plan for Energy and Climate (PNIEC) identifies objectives, trajectories and measures that represent the country's commitment towards European targets for 2030. However, it must be said that climate change still represents a threat to our cities, as proved by the increasingly frequent situations of risk caused

Tuttavia, il persistente sottoutilizzo di informazioni già disponibili, la loro frammentazione, unita alla mancanza di dati certi (specie per quel che concerne gli aspetti energetici relativi al costruito esistente) rappresenta ancora un limite che porta ad operare in condizioni incerte (Carbonari *et al.*, 2019).

In un quadro operativo complesso, si ritiene necessario fornire ai decisori strumenti adeguati a promuovere la rigenerazione del patrimonio edilizio, favorendo la qualità e la resilienza dei distretti urbani attraverso azioni integrate, capaci di mettere a sistema approcci tradizionali e approcci innovativi basati sull'uso del digitale, e proponendo il coinvolgendo attivo, all'interno di tale processo, di comunità e utenti finali.

In questo ambito, le nuove tecnologie e i sistemi di *advanced analytics*, con i quali è possibile raccogliere grandi moli di dati a basso costo, consentendone al contempo la catalogazione e l'analisi, costituiscono fattori rilevanti ai fini della cosiddetta *twin transition*².

Il potenziale insito nell'uso di strumenti digitali, anche a supporto della transizione energetica delle città, verso la decarbonizzazione, è infatti noto: si stima che soluzioni basate sull'uso di *Information and Communication Technologies* (ICTs) potrebbero ridurre le emissioni di gas serra del 10-15% (McKinsey Global Institute, 2018), così come che l'impiego di modelli digitali alla scala urbana consentirebbe di validare le decisioni prima della loro implementazione, migliorando significativamente l'uso che attualmente viene fatto dei dati raccolti, i quali, solo in minima parte, vengono utilizzati per processi decisionali/gestionali (Forrester, 2014).

Negli anni, diversi approcci partecipativi e collaborativi (Höchtel *et al.*, 2016) hanno definito modelli metodologici più o meno ef-

ficaci per l'accessibilità e la comunicazione dei dati degli edifici; quello che ancora manca è l'opportunità di adattare, in maniera sinergica, tali modelli a programmi complessi di riqualificazione energetica alla scala urbana.

La parte decisionale negli approcci partecipativi, specialmente in quelli che impiegano tecnologie digitali, è infatti ancora lontana dal considerarsi risolta, essendo soggetta al divario digitale degli utenti. A tal proposito, studi recenti (Erasmus Center for Data Analytics, 2020) indicano che per fronteggiare al meglio queste sfide servirebbe mettere a punto ed implementare piattaforme digitali urbane interoperabili, favorendo l'accesso e la condivisione di dati interdisciplinari da parte dei diversi soggetti coinvolti per affrontare al meglio le sfide verso la neutralità climatica delle nostre città.

Anche il recente Programma Nazionale per la Ricerca (PNR) (Ministero dell'Università e della Ricerca, 2020) sancisce la necessità di abilitare la realizzazione di piattaforme di integrazione di dati, utilizzabili anche da soggetti terzi, attraverso scenari virtuali, con lo scopo di calibrare e implementare modelli in continuo aggiornamento, monitorabili e tracciabili, e in grado di alimentare a loro volta lo sviluppo e la successiva validazione di nuove tecnologie.

Seppure negli anni siano emersi diversi strumenti e metodi, anche analitici, per supportare il processo decisionale (tra gli altri: Haasnoot *et al.*, 2013; Korteling *et al.*, 2013; Groves and Lempert, 2007), buona parte dei modelli esistenti è ancora rivolta ad ambiti molto specifici. Ne sono un esempio il progetto SOUL, sul tema della mobilità urbana, o ancora, il progetto CITYFLOWS, per la gestione dei flussi pedonali³.

Lo sviluppo di strumenti di supporto decisionale integrati, capaci di mettere a sistema informazioni relative al patrimonio edilizio,

by extreme weather phenomena, to which are added impacts of social nature linked to the population's behaviour, especially concerning emerging issues such as poverty and energy vulnerability, strictly related to poor buildings' technological and energy features. These impacts are also destined to grow, considering that, according to the ONU dossier "World Urbanization Prospects 2018", by 2050 two-thirds of the world's population will live in cities. Cities are therefore the ideal place to face the climate emergency, through the formalisation and the development of replicable decarbonisation strategies, including the adoption of digital tools and infrastructure, to achieve a condition of climate neutrality.

Digital technologies and decision support tools

Making decisions to plan, redevelop

and manage complex urban systems, such as large buildings' stock or wide urban areas, requires the integrated assessment of several indicators.

However, the lasting underuse of existing information so as its fragmentation, combined with the lack of reliable data (especially as regards the energy aspects related to the existing building), represent a limit that leads to operating in uncertain conditions (Carbonari *et al.*, 2019).

In such a complex operational framework, it is necessary to provide decision makers with tools able to promote the regeneration of the building stock, fostering the quality and the resiliency of urban districts through integrated actions, capable of joining traditional approaches and innovative, digital-based approaches, and actively involving communities and users in those processes.

In this context, the new digital technologies and the advanced analytics systems, through which it is possible to collect large amounts of data at a low cost, allowing their cataloguing and analysis, are relevant factors for the so-called twin transition².

The potential intrinsic in the use of digital tools, towards the decarbonisation but also in support of the cities' energy transition is well known: it is estimated that solutions based on the use of information and communication technologies (ICTs) could reduce greenhouse gas emissions by 10-15% (McKinsey Global Institute, 2018). In addition, the use of digital models at the urban scale would allow the validation of decisions before their implementation, significantly improving the use currently made of the collected data, which are, by now, only minimally used for decision-making/man-

agement processes (Forrester, 2014).

Over the years, various participatory and collaborative approaches (Höchtel *et al.*, 2016) have defined more or less effective methodological models, for the accessibility and communication of building data; what is still missing is the opportunity to synergistically adapt these models to complex energy requalification programmes at the urban scale.

The decision-making part in participatory approaches, especially in those which make use of digital technologies, is still considered far from being solved as it is subject to the digital divide of users. Recent studies (Erasmus Center for Data Analytics, 2020) indicate that to better address these challenges, it would be necessary to develop and implement interoperable urban digital platforms, favouring the access to and sharing of interdiscipli-

costituisce ancora una sfida chiave nel settore edilizio (Tan *et al.*, 2021). Lo stesso World Economic Forum ha riconosciuto la necessità di mettere a punto una piattaforma collaborativa, capace di promuovere un approccio sistemico ed inclusivo, per favorire collaborazioni pubblico-private, verso la creazione di *roadmaps* a supporto della transizione energetica (McKinsey, 2018).

Allo stato attuale, i sistemi più diffusi sono stati messi a punto per favorire i processi decisionali durante le prime fasi progettuali (tra gli altri, Kassem *et al.*, 2012) o per sviluppare modelli previsionali (Braulio-Gonzalo *et al.*, 2016). In generale, Nielsen *et al.* (2016) affermano che circa il 30% dei sistemi decisionali esistenti sia stato sviluppato per generare alternative progettuali, concentrandosi principalmente sul miglioramento delle prestazioni tecniche negli approcci di ristrutturazione. Sono invece ancora rari, in letteratura, modelli rivolti alla combinazione di metodi di analisi multicriteriale che utilizzano sistemi BIM a supporto dei processi decisionali, sfruttando il potenziale derivante da tale sinergia (Tan *et al.*, 2021).

Verso un nuovo modello di supporto decisionale per la transizione energetica

Sulla base di quanto introdotto, il presente contributo propone dunque un punto di vista metodologico per promuovere e guidare la pianificazione di interventi di riqualificazione consapevoli, condivisi ed efficaci attraverso lo sviluppo di una piattaforma di supporto decisionale, concepita come un ambiente abilitante capace di mettere a sistema dati, strumenti, linee guida e informazioni necessarie per la progettazione e gestione di politiche e interventi alla scala di distretto.

Le nuove tecnologie presenti sul mercato sono oggi mature per

nary data among the different subjects involved, to better address the challenges to achieving the climate neutrality of our cities.

Even the recent National Research Program (Ministry of University and Research, 2020) establishes the need to enable the creation of data integration platforms, also usable by third parties, which, through virtual scenarios, can help in calibrating and implementing continuously updated models in a monitorable and traceable way, and in order to fuel the development and further validation of new technologies. Although various tools and methods, including analytical ones, have emerged to support the decision-making process over the years (among others: Haasnoot *et al.* 2013; Korteling *et al.*, 2013 or Groves and Lempert, 2007), most of the existing models are still pointed towards very specific

areas. Examples are the SOUL project on the theme of urban mobility or the CITYFLOWS project for the management of pedestrian flows³.

The development of integrated decision support tools capable of integrating information related to the building stock still constitutes a key challenge within the construction sector (Tan *et al.*, 2021). Even the World Economic Forum recently recognised the need to develop a collaborative platform capable of promoting a systemic and inclusive approach to foster public-private collaborations towards the creation of roadmaps to support the energy transition (McKinsey, 2018).

At present, the most widespread systems have been developed to facilitate decision-making processes during the early design phases (among others, Kassem *et al.*, 2012) or to develop forecasting models (Braulio-Gonzalo

consentire lo sviluppo di una piattaforma basata sull'adozione di un gemello digitale (*Digital Twin* – DT) dell'oggetto di intervento, attraverso il quale simulare e sperimentare diversi scenari di trasformazione “accessibili” – grazie ad interfacce *user-friendly* – tanto agli utenti/fruitori quanto ai decisori, al fine di valutare l'efficacia degli interventi proposti mediante la creazione di “copie digitali”, in continua evoluzione grazie all'impiego di dati raccolti in tempo reale.

L'adozione di un gemello digitale alla scala urbana e/o architettonica, abilitato attraverso dati ottenuti da una mappatura 3D, anche in tempo reale, garantirebbe infatti l'acquisizione, a ciclo continuo, di informazioni sul comportamento del quartiere/edificio, valutandone le prestazioni energetiche e gli impatti ambientali nonché prevedendo potenziali guasti e/o eventuali interventi di manutenzione necessari a mantenere le prestazioni attese nel tempo.

Tale gemello digitale, sviluppato in ambiente BIM, consentirebbe inoltre di modellare i diversi elementi critici (edifici, infrastrutture, reti, trasporti, impianti, aree verdi, ecc.) rilevati all'interno del caso oggetto di riqualificazione, ciascuno dei quali incorporerà dati e metadati, visualizzando relazioni, dipendenze e interazioni tra i diversi elementi strategici che concorrono a supportarne la transizione verso la neutralità climatica. Ciò permetterebbe da un lato di monitorare l'impatto dei diversi fattori e interventi sui parametri coinvolti, fornendo ai decisori un chiaro supporto scientifico per valutare l'effetto e l'efficacia di differenti strategie di intervento a scala urbana; dall'altro di aumentare la consapevolezza delle comunità circa l'influenza di azioni e comportamenti quotidiani, promuovendone l'impegno e la partecipazione attiva.

et al., 2016). Overall, Nielsen *et al.* (2016) state that approximately 30% of the existing decision-making systems have been developed to generate design alternatives, primarily focusing on the improvement of technical performance in renovation approaches. Models aimed at combining multicriteria analysis methods with BIM systems to support decision-making processes, exploiting the potential deriving from this synergy, are still rare within literature (Tan *et al.*, 2021).

Towards a decision support model for the energy transition

Therefore, based on what previously stated, this paper proposes a methodological viewpoint to promote and guide planning activities for conscious, shared and effective renewal interventions through the development of a decision support platform (DSP) con-

ceived as an enabling environment capable of systematising the data, tools, guidelines and information needed to plan and manage policies and interventions at the district scale.

The new market-available technologies are now ready to allow the development of a platform based on the adoption of a digital twin (DT) of the intervention object, through which different transformation scenarios are simulated and tested, to become “accessible” to both users and decision makers thanks to user-friendly interfaces, in order to evaluate the effectiveness of the proposed interventions through the creation of “digital copies”, continuously evolving thanks to the use of data collected in real-time.

The adoption of a digital twin, acting at the urban and/or the architectural scale, enabled through data obtained from 3D mapping, could provide

Al fine di verificare gli effettivi benefici di uno specifico scenario di intervento, o di una combinazione di diverse soluzioni, si ritiene importante individuare un set di opportuni indicatori multidimensionali incorporati nello strumento decisionale, con lo scopo di valutare l'effettivo raggiungimento della *carbon neutrality*, confrontando la performance post-intervento dell'oggetto di studio con il suo stato di partenza. Gli indicatori dovrebbero venire scelti sulla base di un approccio multidisciplinare, tale da combinare metodi deterministici e metodi stocastici in relazione alle specifiche caratteristiche ambientali, energetiche, sociali e demografiche del caso in esame. Gli indicatori alla base del modello diventano così significativi per il calcolo delle prestazioni energetiche dell'oggetto analizzato (in relazione alle specifiche condizioni climatiche locali, parametri operativi, ambito e utilizzo), nonché degli impatti ambientali, dell'eventuale qualità dell'ambiente interno, ecc.

Ulteriori indicatori che dal punto di vista degli autori sono rilevanti riguardano il monitoraggio delle condizioni di salute, comfort e benessere degli utenti, considerando sia lo spazio chiuso che quello aperto a seconda della scala di applicazione. Tra questi, si segnalano il livello di automazione o intelligenza dei sistemi (*Smart Readiness Indicator*), la concentrazione di CO₂, la temperatura, il grado di umidità relativa, l'illuminazione diurna, il livello di inquinamento acustico, ecc.

La maggior parte degli indicatori sopra proposti è di uso e interesse generale e, quindi, direttamente trasferibile dallo specifico caso oggetto di intervento ad altri distretti urbani o aree di interesse. Pertanto, alcuni dati di input potranno essere ridefiniti caso per caso, così come i "pesi" dei singoli indicatori potranno essere modificati per tenere conto del contesto locale specifico e

real-time information on the behaviour of the neighbourhood/building, by evaluating energy performance as well as environmental impacts, thus predicting potential failures or any maintenance interventions needed to guarantee the expected performance over time.

The digital twin, developed in a BIM environment, will enable the modeling of the various critical elements (buildings, infrastructures, networks, transport, systems, green areas, etc.) detected within the case study; each of them will incorporate data and metadata, visualising relationships, dependencies and interactions between the various strategic elements that contribute to supporting the transition towards climate neutrality. This will allow, on the one hand, the impact of the various factors and interventions on the involved parameters to be moni-

tored, providing decision makers with clear scientific support to evaluate the effect and effectiveness of different intervention strategies at the urban scale; on the other hand, it will increase the communities' awareness about the influence of daily actions and behaviours, promoting their commitment and active participation.

To verify the actual benefits of a specific intervention scenario or of a combination of different solutions, it is considered important to identify a set of appropriate multidimensional indicators, included within the decision tools to evaluate the contribution towards the achievement of carbon neutrality by comparing the post-intervention performance of the object of study with its benchmark value.

The indicators should be chosen according to a multidisciplinary approach that combines deterministic

delle condizioni al contorno in cui verranno utilizzati in futuro. Grazie al modello gemello digitale è inoltre possibile selezionare la tipologia di dati (dati storici/statistici e/o *real-time data* provenienti da sensori e/o altri dispositivi di monitoraggio) da analizzare, le modalità di misura e i relativi indicatori a seconda della scala di applicazione (edificio/quartiere/distretto), gli obiettivi di resilienza/neutralità climatica da raggiungere in base allo stato di partenza (efficienza energetica, emissioni di gas serra e inquinanti atmosferici, mitigazione climatica, adattamento ai cambiamenti climatici, ecc.) così come lo specifico ambito preso in esame (mobilità, ambiente costruito, aree verdi, spazi aperti, eccetera.). In questo modo, il modello DT diventa il mezzo per simulare la transizione verso la neutralità climatica attraverso la visualizzazione di possibili scenari alternativi.

La piattaforma di supporto decisionale

La piattaforma di supporto decisionale, implementata dal gemello digitale, lavorerà basandosi su un approccio di valutazione chiamato *Balanced Scorecard Approach*, generalmente impiegato nella gestione delle imprese per tradurre missioni e strategie in un insieme coerente di azioni da attuare, connesse alla loro misurazione.

Nella piattaforma, gli elementi strategici per la transizione energetica dei distretti si legheranno ai relativi obiettivi per ciascun ambito, e ad elementi più operativi che diventeranno le azioni da realizzare (ad es. politiche da applicare, progetti da realizzare, servizi da fornire) per raggiungere i risultati ottenuti dalla simulazione degli scenari attraverso il gemello digitale. Per ogni obiettivo si dovrebbe stabilire almeno un indicatore per monitorare i progressi verso il risultato atteso; gli indicatori

and stochastic methods concerning the specific environmental, energy, social and demographic features of the object under examination. Thus, the indicators underlying the model become significant for evaluating the energy performance of the case study (in terms of the specific climate local conditions, operating parameters, scope and use) as well as for the environmental impacts, the indoor environmental quality, and so on.

From the authors' viewpoint, further relevant indicators concern the monitoring of the health, comfort and well-being conditions of users, considering both indoor and outdoor space according to the different scales of application. These include the level of automation or intelligence of the systems (Smart Readiness Indicator), the CO₂ concentration, temperature, relative humidity, daylight, noise pollution level, etc.

Most of the abovementioned indicators are of general use and interest and, therefore, directly transferable from the specific object of intervention to other urban districts or areas of interest. Hence, some input data may be redefined on a case-by-case basis, and the "weights" of the single indicators could be modified to take into account the specific local context and the boundary conditions in which they will be used in the future.

Furthermore, thanks to the digital twin model, it will be possible to select the type of data (historical or statistical data and/or real-time data detected from sensors and/or other monitoring devices) to be analysed, the measurement methods and the related indicators depending on the different scale of application (building/neighbourhood/district), the resilience/climate neutrality objectives to be achieved based

consentiranno infatti di misurare gli impatti delle diverse azioni implementate, determinando il divario tra la performance effettivamente raggiunta e quella attesa, allineando in questo modo le azioni da intraprendere con una comprensione condivisa degli obiettivi da raggiungere.

Gli ambiti di intervento principali, all'interno dei quali è possibile misurare e simulare possibili scenari alternativi, dovrebbero essere tutti quelli che influenzano la transizione ovvero: i) mobilità; ii) edifici; iii) aree verdi; iv) spazi intermedi. Grazie all'analisi di "buone pratiche" esistenti, sarà poi possibile proporre, all'interno di ciascun dominio, un abaco delle possibili azioni da attuare, riconducibili ai diversi *stakeholders* coinvolti (amministrazioni locali/comunità). Ciò consentirebbe, per ciascuna azione, di raccogliere, monitorare e calcolare i relativi indicatori al fine di tracciare i progressi verso la neutralità climatica.

In relazione ai risultati emersi dalle simulazioni digitali, la piattaforma permetterebbe di effettuare una approfondita analisi multicriteriale (*Multi-Criteria Decision Analysis* – MCDA), assegnando ad ogni scenario un "punteggio" sintetico basandosi sull'approccio AHP (*Analytic Hierarchy Process*) con lo scopo di individuare la massima priorità di intervento. Tale metodo è stato valutato come il più semplice in termini di applicazione e flessibilità di utilizzo (Sabaei, Erkoynucu and Roy, 2015).

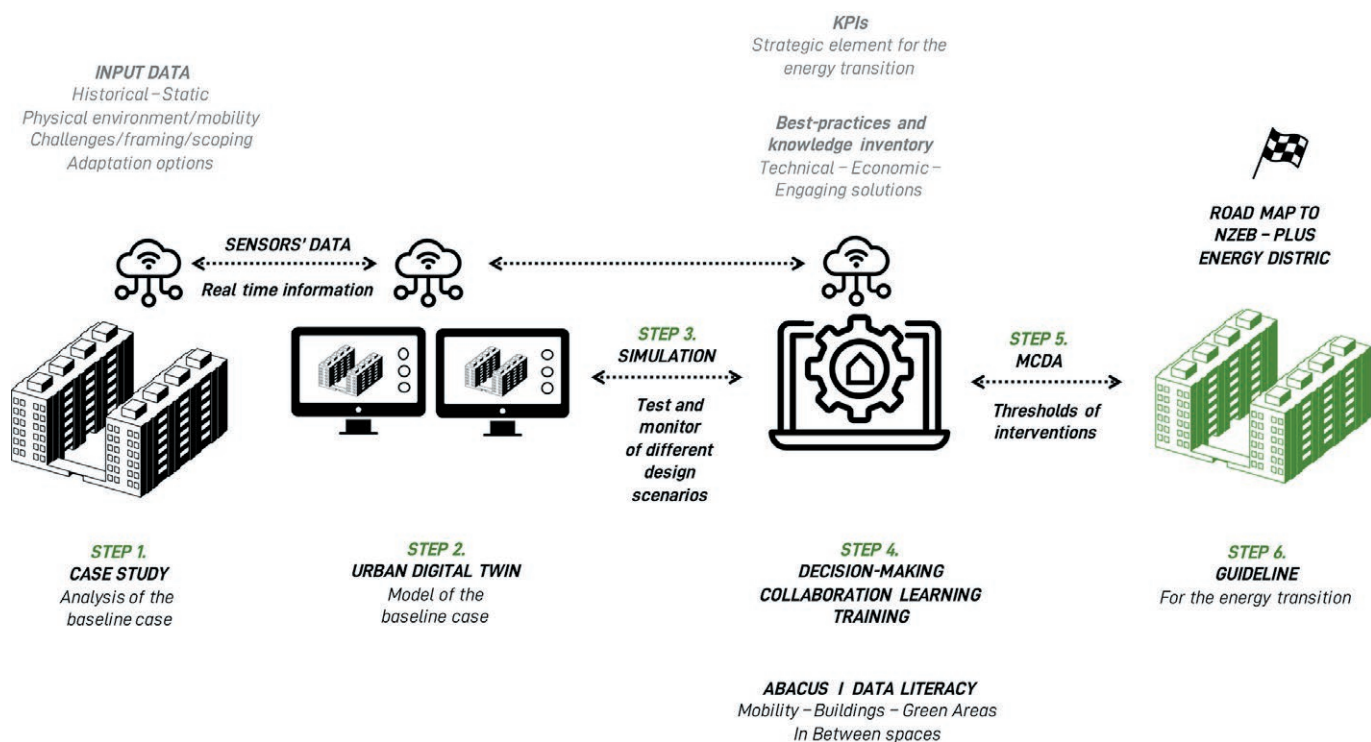
In questo modo i decisori potranno beneficiare di una classifica dei diversi scenari in base alla loro pertinenza rispetto al problema decisionale in oggetto, dunque valutare le diverse opzioni. Tali opzioni, a loro volta, dovrebbero basarsi su delle soglie in grado di definire chiaramente il miglioramento delle prestazioni globali dei distretti – pesante, media e leggera – alle quali corrisponderebbero diversi livelli di intervento – elevato, moderato e leggero (Fig. 1).

Conclusioni

Il cambiamento climatico, il risparmio di risorse e la transizione verso fonti energetiche rinnovabili sono temi dalle molteplici sfaccettature, che richiedono un approccio interdisciplinare e intersettoriale.

Sulla base delle esperienze maturate nel settore della riqualificazione e rigenerazione, una nuova piattaforma di supporto decisionale come quella descritta nel presente contributo si configurerebbe come uno strumento rigoroso ed affidabile per lo sviluppo e l'implementazione di strategie efficaci.

Attraverso la modellazione digitale di scenari reali e simulati, essa consentirebbe di visualizzare, anche in tempo reale, relazioni, dipendenze e interazioni tra i diversi elementi strategici che concorrono a sostenere la transizione dei distretti urbani verso la neutralità climatica.



Il modello di supporto decisionale sopra descritto contribuirebbe inoltre, dal punto di vista degli autori, al monitoraggio dell'impatto dei diversi fattori sui parametri responsabili della transizione energetica, aumentando la consapevolezza delle comunità sull'importanza di azioni e comportamenti efficaci e fornendo al contempo, a politici e decisori, uno strumento di supporto scientifico per la valutazione dell'esito di differenti strategie di intervento alla scala urbana. Si ritiene infine che tale modello possa favorire attività collaborative, intersettoriali e interdisciplinari, ponendosi come intermediario digitale per comunicare politiche e visioni a lungo termine, da un lato, e fungendo da ponte per ridurre il *digital divide* dall'altro, costruendo in questo modo relazioni proattive con e tra gli utenti.

NOTE

¹ Il 14 ottobre 2020, la Commissione Europea lancia l'iniziativa "Communication and Strategy on the Renovation Wave" come parte del Green Deal Europeo, con l'intenzione di raddoppiare il tasso di rinnovamento nel Continente nei prossimi dieci anni, contribuendo a renderlo *carbon neutral* entro il 2050.

² La "doppia transizione" (gemella), green e digitale, verso un futuro a zero emissioni (come definito anche nel bando: "Twin green and digital transition" (HORIZON-CL3-2021-SSRI-01) contenuto nel Programma di lavoro 2021-2022 del Cluster Digital, Industry and Space di Horizon Europe).

³ SOUL – Smart mObility hUb pLatform (available at: <https://www.fondazione.politecnico.it/progetti/smart-mobility/soul/>) e CityFlows (available at: <https://cityflows-project.eu>) sono entrambi progetti di innovazione avviati nel 2020 dalla nuova Comunità della Conoscenza e dell'Innovazione "EIT Urban Mobility", partenariato pubblico-privato promosso dall'Istituto Europeo di Innovazione e Tecnologia (EIT) per rafforzare la capacità di innovazione dell'Europa nel settore della mobilità urbana.

on the initial stage (energy efficiency, greenhouse gas emissions and atmospheric pollutants, climate mitigation, adaptation to climate change, etc.) as well as the specific area examined (mobility, built environment, green areas, open spaces, etc.). In this way, the DT model becomes the means through which simulate the transition towards climate-neutrality thanks to the visualisation of possible alternative scenarios.

The Decision Support Platform

The Decision Support Platform, implemented by the digital twin, will be developed according to a balanced scorecard approach, generally used in business management to translate missions and strategies into a coherent set of actions to be implemented in connection with their measurement. Within the platform, the strategic ele-

ments for the districts' energy transition will be linked to the relative objectives for each area, and to more operational elements which will become the actions to be implemented (e.g., policies to be applied, projects to be built, services to be provided) to achieve the results obtained from the simulation of scenarios through the digital twin. For each objective, at least one indicator will be established to monitor progress towards the expected outcome; the indicators will allow to measure and monitor the impacts of the various actions implemented, determining the gap between the performance achieved and what is expected, thus aligning the actions to be undertaken with a shared comprehension of the objectives to be achieved.

The main areas of intervention, within which possible alternative scenarios will be measured and simulated,

REFERENCES

Artino A. *et al.* (2020), "Decision Support System for the Sustainable Seismic and Energy Renovation of Buildings: Methodological Layout", *Sustainability*, Vol. 12, pp. 10273.

Braulio-Gonzalo, M. *et al.* (2016), "Modelling energy efficiency performance of residential building stocks based on Bayesian statistical inference", *Environmental Modelling & Software*, Vol. 83, pp. 198-211.

Carbonari A. *et al.* (2019), "A Decision Support System For Multi-Criteria Assessment Of Large Building Stocks", *Journal of Civil Engineering and Management*, Vol. 25, Issue 5, pp. 477-494.

Erasmus Center for Data Analytics (2020), Brandt, T., van Oosterhout, M. and Sheombar, H., "Digitally managed cities of the future – how close are we?", available at: https://discovery.rsm.nl/articles/436/?tx_rsmdiscovey_detail%5Bpreview%5D=0&cHash=b3db1ad9420ab59b47ad1d7d12af3dad (accessed 11 Jan 2021).

EC (2019a), "Comprehensive study of building energy renovation activities and the uptake of nearly zero-energy buildings in the EU", available at: https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/documents/1.final_report.pdf (accessed 24 Sep 2021).

EC (2019b), "The European Green Deal", available at: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?qid=1588580774040&uri=CELEX:52019DC0640> (accessed 21 Jan 2021).

EC (2020a), "2030 Climate Target Plan", available at: https://ec.europa.eu/clima/policies/eu-climate-action/2030_ctp_en (accessed 21 Jan 2021).

EC (2020b), "A Renovation Wave for Europe – greening our buildings, creating jobs, improving lives", available at: https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/eu_renovation_wave_strategy.pdf (accessed 24 Sep 2021).

EC (2020c), "European Climate Law", available at: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?qid=1588581905912&uri=CELEX:52020PC0080> (accessed 21 Jan 2021).

EC (2020d), "European Climate Pact", available at: <https://europa.eu/clima->

should be all those that influence the transition, namely: i) mobility; ii) buildings; iii) green areas; iv) in-between spaces. Thanks to the analysis of existing "good practices", within each of these domains it will be possible to propose an abacus of possible actions to be implemented and developed, attributable to the various stakeholders involved (local administrations/communities). For each of the possible actions, this would allow the collection, monitoring and measurement of the related indicators to track the progress towards climate neutrality.

Concerning the results emerged from the digital simulations, the platform would allow an in-depth Multi-Criteria Decision Analysis (MCDA), to be carried out assigning a synthetic "score" to each scenario based on the AHP (Analytic Hierarchy Process) approach to identify the highest inter-

vention priority. This method has been evaluated as the simplest in terms of application and flexibility of use (Sabaei, Erkoyuncu and Roy, 2015).

In this way, decision makers will benefit from a ranking of the different scenarios based on their relevance according to the specific decision problem, thus evaluating the different alternative options. These options, in turn, should be based on thresholds capable of clearly defining the improvement in the overall performance of the districts – heavy, medium or light – which would correspond, respectively, to different levels of intervention – high, moderate and light. (Fig. 1).

Conclusions

Climate change, resource-saving and the transition towards renewable energy sources are multi-faceted issues, which must be addressed through an

te-pact/index_en (accessed 21 Jan 2021).

EC (2020e), “Proposed Mission: 100 Climate-neutral Cities by 2030 – by and for the Citizens. Report of the Mission Board for climate-neutral and smart cities”, available at: https://ec.europa.eu/info/sites/info/files/research_and_innovation/funding/documents/ec_rtd_mission-board-report-climate-neutral-and-smart-cities.pdf (accessed 11 Jan 2021).

Forrester (2014), “The Forrester Wave™: Big Data Hadoop Solutions”, Q1 2014, available at: <https://www.forrester.com/report/The+Forrester+Wave+Big+Data+Hadoop+Solutions+Q1+2014/-/E-RES112461> (accessed 14 Jan 2021).

Groves, D.G. and Lempert, R.J. (2007), “A new analytic method for finding policy-relevant scenarios”, *Glob Environ Chang*, Vol. 17, pp. 73-85.

Haasnoot, M. *et al.* (2013), “Dynamic adaptive policy pathways: a method for crafting robust decisions for a deeply uncertain world”, *Glob Environ Chang*, Vol. 23, pp. 485-498.

Höchtel, J., Parycek P. and Schöllhammer R. (2016), “Big data in the policy cycle: Policy decision making in the digital era”, *Journal of Organizational Computing and Electronic Commerce*, Vol. 26, Issue 1-2, pp. 147-169.

Kassem, M., Dawood, N., and Mitchell, D. (2012), “A decision support system for the selection of curtain wall systems at the design development stage”, *Construction Management and Economics*, Vol. 30, pp. 1039-1053.

Korteling, B. *et al.* (2013), “Using Information-Gap Decision Theory for water resources planning under severe uncertainty”, *Water Resour Manag*, Vol. 27, pp. 1149-1172.

McKinsey and Company (2018), World Economic Forum, Insight report “Fostering Effective Energy Transition. A Fact-Based Framework to Support Decision-Making”, available at: <https://www.mckinsey.com/~/media/mckinsey/industries/oil%20and%20gas/our%20insights/a%20framework%20for%20fostering%20effective%20energy%20transitions/fostering-effective-energy-transition.pdf> (accessed 07 Dec 2021).

McKinsey Global Institute (2018), “Smart Cities: Digital Solutions for a

interdisciplinary and intersectoral approach.

Based on the experience gained in the field of redevelopment and regeneration of existing buildings, a new decision support platform, such as the one described in this contribution, would be a rigorous and reliable tool for the development and implementation of effective strategies.

Through the digital modelling of real and simulated scenarios, it would make possible to visualise real-time relationships, dependencies and interactions between the various strategic elements that contribute to supporting the transition of urban districts towards climate neutrality.

According to the authors, the above-mentioned decision support model would also help in monitoring the impact of different factors on the parameters responsible for the energy transi-

tion, increasing communities’ awareness about the importance of effective actions and behaviours and providing, at the same time, politicians and decision makers with a tool to scientifically support the evaluation of the outcome of different intervention strategies at the urban scale. Finally, it is believed that this model can foster collaborative, intersectoral and interdisciplinary activities; on the one hand, acting as a digital intermediary to communicate policies and long-term visions and, on the other hand, as a bridge to reduce the digital divide, thus building proactive relationships within and between users.

NOTES

¹ On 14 October 2020, the European Commission launched its “Communication and Strategy on the Renovation Wave” initiative as part of the Euro-

pean Green Deal, intending to double Europe’s renovation rate in the next ten years and contribute to making the continent carbon neutral by 2050.

more Livable Future”, available at: <https://www.mckinsey.com/~/media/McKinsey/Industries/Public%20and%20Social%20Sector/Our%20Insights/Smart%20cities%20Digital%20solutions%20for%20a%20more%20livable%20future/MGI-Smart-Cities-Full-Report.pdf> (accessed 11 Jan 2021).

Ministry of Economic Development, Ministry of the Environment and Protection of Natural Resources and the Sea, Ministry of Infrastructure and Transport (2019), “Integrated National Energy and Climate Plan”, available at: https://www.mise.gov.it/images/stories/documenti/it_final_necp_main_en.pdf (accessed 21 Jan 2021).

Nielsen, A.N. *et al.* (2016), “Early stage decision support for sustainable building renovation: A review”, *Build. Environ.*, Vol. 103, pp. 165-181.

Onu (2018), “World Urbanization Prospects 2018”, available at: <https://population.un.org/wup/> (accessed 26 Jul 2021).

Palutikof, J.P. *et al.* (2019), “Decision support platforms for climate change adaptation: an overview and introduction”, *Climatic Change*, Vol. 153, pp. 459-476.

Sabaei, D. *et al.* (2015), “A review of multicriteria decision making methods for enhanced maintenance delivery”, *Procedia CIRP*, Vol. 37, pp. 30-35.

Tan, T. *et al.* (2021), “Combining multi-criteria decision making (MCDM) methods with building information modelling (BIM): A review”, *Automation in Construction*, Vol. 121, pp. 103451.

capacity for innovation in the urban mobility sector.

² The “double” (twin) green and digital transition, towards a zero emissions future (as also defined in the call “Twin green and digital transition” (HORIZON-CL3-2021-SSRI-01) within the Work Program 2021-2022 of the Cluster Digital, Industry and Space of Horizon Europe).

³ SOUL – Smart mObility hUb pLatform (<https://www.fondazionepolitecnico.it/progetti/smart-mobility/soul/>) and CityFlows (<https://cityflows-project.eu>) are both innovation projects launched in 2020 by the new Community of Knowledge and Innovation “EIT Urban Mobility”, a public-private partnership promoted by the European Institute of Innovation and Technology (EIT) to strengthen Europe’s