

Manuela Romano, Matteo Clementi, Alessandro Rogora,
Dipartimento di Architettura e Studi Urbani, Politecnico di Milano, Italia

manuela.romano@polimi.it
matteo.clementi@polimi.it
alessandro.rogora@polimi.it

Abstract. Il testo presenta gli avanzamenti di una ricerca sul tema dell'innovazione dei processi di riqualificazione dell'ambiente costruito in cui gli approcci collaborativi e tecnologie digitali supportano la risposta prestazionale delle azioni di progetto per la costruzione di scenari abitativi *carbon neutral*. L'esperienza progettuale si basa su un approccio *game-based learning*. Le informazioni raccolte sono elaborate con l'intento di configurare un *serious game* digitale per progettare la sostenibilità urbana. Lo strumento che ne discende vuole configurarsi come spazio virtuale interattivo e collaborativo all'interno del quale i diversi portatori di interesse possono comprendere e simulare scenari di trasformazione nella ricerca di soluzioni condivise adeguate alle specificità dei territori.

Parole chiave: Urban sustainability; Auto-sufficienza; *Carbon neutral*; *Transition game*; *Trace*.

Introduzione

I nuovi ed eterogenei standard qualitativi che l'ambiente costruito dovrà possedere per favorire la transizione di città e territori in luoghi in cui abitare in una condizione *Climate Neutral* (EC, 2019a), richiedono di orientare le strategie progettuali verso interventi multi-scalari e multi-attoriali con azioni sinergiche che coinvolgono fattori interconnessi: efficienza del patrimonio costruito, energia e mobilità pulita, beni e servizi accessibili, ecosistemi sani, riduzione dei rifiuti urbani, inclusione e innovazione sociale, economie locali.

Il peso ambientale dell'abitare città e territori, infatti, è insostenibile ed eterogeneo (Elhacham *et al.*, 2022, Griffin *et al.*, 2022), 'Abitare' vuol dire risiedere in un luogo, avere una dimora, far parte di una comunità, da lì accedere a beni e servizi che sotto forma di prodotti e infrastrutture soddisfano bisogni quotidiani. Abitare, come noto, determina ogni giorno consumo di energia e materia (Berners-Lee, 2020) ed emissioni di gas serra

TRAcES: experimental processes to simulate “carbon neutral” urban habitats

Abstract. This research addresses the issue of process innovation for the transformation of the built environment aimed at *carbon neutral* objectives in urban space. The design experience is based on a *game-based learning* approach in which collaborative processes and digital technologies support the performance response of the project actions. The collected information is processed with the intention of configuring a digital *serious game* as an interactive space where citizen, designer and public administrators can understand and simulate urban transformation scenarios and seek shared solutions that can contain the local ecological footprint as close as possible to the sustainable limit.

Keywords: Urban sustainability; Self-sufficiency; *Carbon neutral*; *Transition game*; *Trace*.

di cui solo una quota parte è attribuita al settore residenziale (ISPRA, 2022). I processi urbani hanno un forte impatto ambientale che includono in generale tutti i flussi all'interno del tessuto urbano derivanti dalle attività che vi si svolgono (nutrirsi, lavorare, muoversi, comunicare) e nelle relazioni con il territorio (scambio di prodotti e servizi) (Baccini and Brunner, 2012).

Se come abitanti abbiamo ancora bisogno di maturare consapevolezza e conoscenze degli impatti ambientali delle azioni quotidiane che svolgiamo, come progettisti dobbiamo interrogarci su come determinate trasformazioni dell'ambiente costruito possono favorire stili di vita responsabili. In questa direzione, il progetto dovrebbe assumere come fondamentali le relazioni tra edifici/sistemi insediativi e persone/comunità e avere il ruolo di dotare l'ambiente costruito di innovazioni 'dolci' per rendere possibile una quotidianità sostenibile (Manzini and Francois, 2003) nella configurazione di nuovi *habitat urbani* (Guallart, 2015) e nello sviluppo di territori in grado di garantire parimenti standard qualitativi.

In tale contesto, il tema del ri-innovo dell'abitazione offre un banco di prova di nuovi processi progettuali orientati ad approcci *human-centred* (EC, 2019b) nella realizzazione di sistemi insediativi *carbon neutral*. Una concezione del progetto che pone gli abitanti al centro di processi edilizi e si avvale di nuovi strumenti di supporto ai processi di *decision-making* con i quali rendere comprensibili le risposte prestazionali delle scelte da operare per la prefigurazione di scenari di trasformazione efficaci e condivisi, basati su approcci *social innovation* (Manzini, 2015) che tentano di ricucire relazioni tra luoghi e comunità.

Introduction

The transition to *carbon neutral* cities and territories (EU2019) requires guiding project strategies toward multi-scalar and multi-stakeholder interventions with synergistic actions involving interconnected factors: efficiency of housing stock, clean energy and mobility, accessibility to goods and services, healthy ecosystems, social inclusion and social innovation, local economies.

The environmental impact of 'inhabited' cities and territories is unsustainable and heterogeneous (Elhacham *et al.*, 2022). 'Inhabiting' means residing in a place, having a home there, being part of a community, hence accessing goods and services that satisfy daily needs in the form of products and infrastructures. As is well known, inhabiting a place comes with a huge responsibility for climate change in eve-

ryday energy and matter consumption (Berners-Lee, 2020), only one third of which is attributed to the residential sector (ISPRA, 2022). Urban processes have strong environmental impacts, which generally include all flows within the urban fabric and in relationships with the land (Baccini and Brunner, 2012).

As inhabitants, we need to become aware and build knowledge about the environmental impacts of the daily actions we perform to meet the lifestyles we decide to adopt. As designers, we need to question how transforming the built environment can foster more responsible lifestyles. In this direction, the project should take the relationships between buildings/settlement systems and people/communities as a fundamental point and should aim to equip the built environment with 'soft' innovations to enable sustainable eve-

Inquadramento e obiettivi della ricerca

Il contributo riporta una parte del lavoro di ricerca¹ condotto nell'ambito del progetto Fragilità Territoriali nel Dipartimento di Eccellenza – DASTU del Politecnico di Milano in sinergia con il gruppo di ricerca SEEDItaly. Il focus della ricerca è l'innovazione di processo nei programmi di trasformazione dell'ambiente costruito rivolti a obiettivi di sostenibilità urbana nella prefigurazione di comunità in grado di auto-organizzarsi e auto-sostenersi. L'indagine è rivolta alla comprensione delle potenzialità di utilizzo di nuovi strumenti digitali e metodi partecipativi con l'intento di costruire le basi per lo sviluppo di uno strumento che possa rendere quantificabili e comprensibili per i diversi *stakeholders*, attraverso processi di *experiencing*, le risposte prestazionali relative a modifiche comportamentali da parte degli abitanti e infrastrutturali sull'ambiente costruito.

La ricerca propone lo sviluppo di un metodo che intende:

- favorire interventi di trasformazione dell'ambiente costruito orientati ad una dimensione *self-sufficiency* dei territori;
- consentire di misurare gli effetti di soluzioni progettuali note e prefigurare scenari di sostenibilità urbana su scala locale;
- facilitare processi partecipativi e scelte condivise tra cittadini, professionisti, pubbliche amministrazioni, associazioni e volontari operanti nei territori;
- accrescere consapevolezza e conoscenza sull'importanza di adottare comportamenti responsabili per rendere più efficaci determinate azioni di progetto.

Il metodo si basa sulla comprensione della capacità dei territori di sostenere i bisogni quotidiani della popolazione insediata attraverso strategie progettuali orientate alla massimizzazione del capitale territoriale locale (Magnaghi, 2020). L'obiettivo è

ryday living (Manzini and Francois, 2003) when building new urban habitats (Guallart, 2015).

In this context, the topic of housing renovation offers a test bed for new design processes oriented to *human-centred* approaches (EC, 2019b) to build *carbon neutral* settlement systems. This conception places inhabitants at the centre of design processes and uses new tools to support *decision-making processes* through which performance responses can be obtained regarding behavioural and design alternatives for the prefiguration of effective and shared transformation scenarios based on *social innovation* approaches (Manzini, 2015).

Framework, research objectives and contexts of experimentation

The paper reports part of the work carried out within the Territorial Fragility

project research of the Department of Excellence – DASTU of the Politechnic University of Milan, in conjunction with the SEEDItaly research group. The focus of the research is the process innovation for built environment transformation interventions aimed at achieving sustainability goals. The investigation is aimed at understanding the potential of using new digital tools and participatory methods in order for all stakeholders to understand, share and verify the effects of project choices. In particular, the focus of the research is to investigate how the project can guide inhabitants and decision-makers to build self-organising and self-sustaining communities. In this respect, the primary objective is to construct the basis for the development of a tool to quantify performance response related to changes – namely the behav-

comprendere il potenziale delle risorse valorizzabili attraverso processi *circular economy* e far emergere le abilità dei territori e degli abitanti di modificare la *resilienza*, sperimentando modelli di auto-sostenibilità locale (Clementi, 2019).

La ricerca è sperimentata su due realtà caratterizzate da due apparenti opposte condizioni di fragilità: il territorio del comune di Rescaldina, nell'area metropolitana di Milano, e il territorio del comune di Bojano, in area marginale del Molise (Fig. 1). Si tratta da un lato di un contesto che presenta strutture fisiche e produttive solide ed è caratterizzato da un elevato indice demografico e di consumo di suolo con conseguente peso antropico e marginale disponibilità di territorio per abitante, dall'altro di un contesto che, al contrario, presenta strutture fisiche e produttive fragili, con un basso indice demografico e una più ampia disponibilità di territorio per abitante. L'interesse che la ricerca pone nell'affrontare il tema sulle due realtà risiede nella volontà di comprendere le potenzialità di una fragilità, che connotata da fattori diversificati, offre condizioni di transizione verso uno sviluppo locale sostenibile differenziato. Comprendere l'apprezzabilità di scenari di sviluppo di autosufficienza nella gestione sostenibile e circolare delle risorse naturali, sociali e urbane, in cui la trasferibilità di strategie e buone pratiche scientificamente riconosciute, è valutata nelle relazioni tra bisogni, attori e risorse disponibili sul territorio.

Approccio metodologico, struttura e articolazione del metodo

La ricerca pone alla base la costruzione di strumenti di analisi e contabilità dell'impatto ambientale adottando un approccio semplificato riferito all'*ecological footprint* che tende a determinare l'impronta ecologica locale e quantificare l'effetto

our of individuals and technologies on the built environment – needed to contain the local ecological footprint as close as possible to the sustainable limit (Rogora, 2020). Synthetically, the research proposes to develop a tool whose goal is to:

- encourage interventions in the transformation of the built environment oriented to a self-sufficiency dimension of territories;
- allow the measurement of effects of known design solutions and the prefiguration of sustainability scenarios on a local scale;
- facilitate participatory processes and shared choices among citizens, professionals, public administrations, associations and volunteers working in the territories;
- raise awareness and knowledge about the importance of adopting responsible behaviour to make cer-

tain project actions more effective. The method is based on understanding the capacity of territories to support population through design strategies geared toward maximising local territorial capital (Magnaghi, 2020). In this context, the interest of the research lies in understanding the enhancement potential of the local resources through a *circular economy* process and bringing out the ability of the territories to change resilience by experimenting with models of local self-sustainability (Clementi, 2019).

The research is tested on two contexts characterised by two opposite conditions: the territory of the municipality of Rescaldina, in the metropolitan area of Milan, and the territory of Bojano, in Molise (Fig. 1). On the one hand, these represent highly developed contexts with a high demographic index and a consequent low

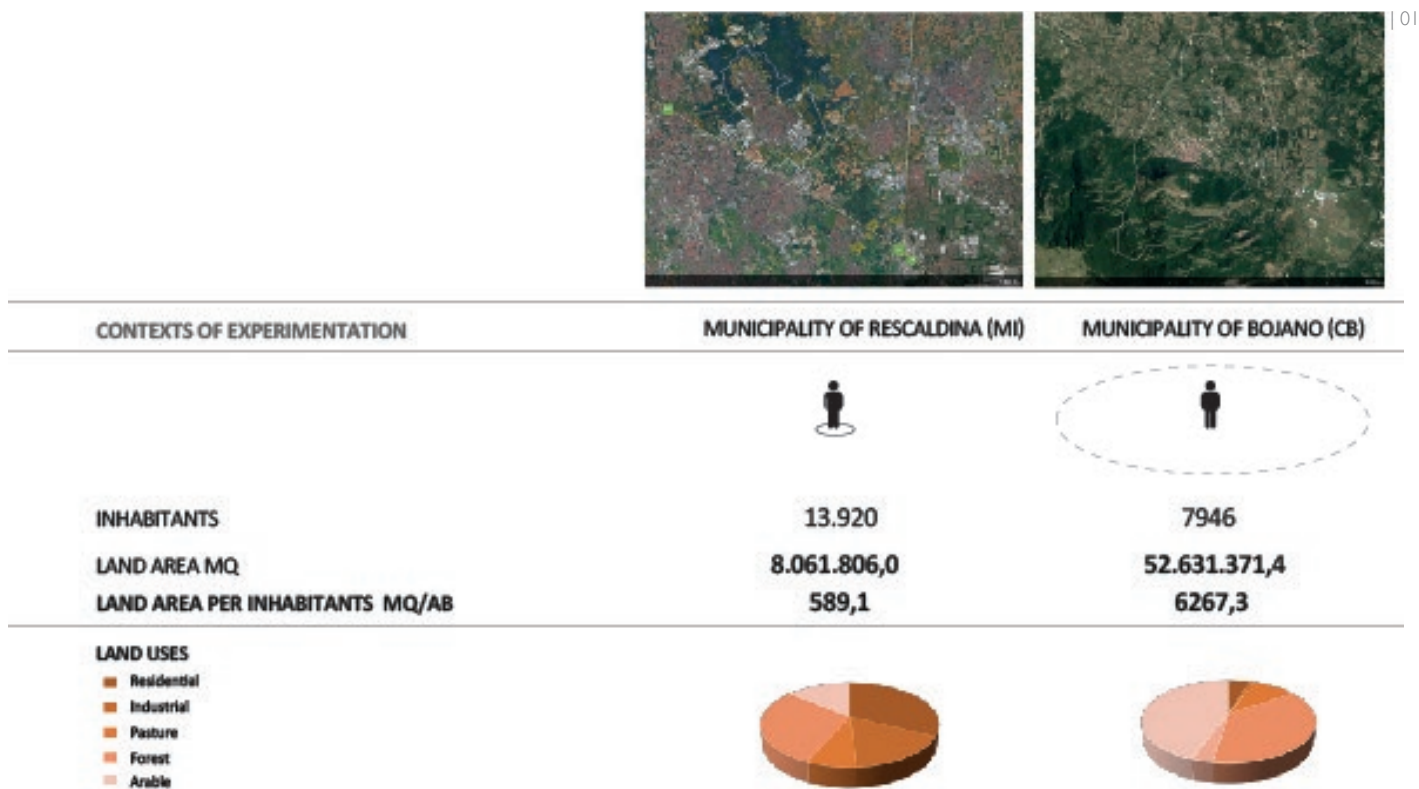
di determinate azioni trasformatrici non tralasciando le necessarie modifiche comportamentali da parte della comunità. Le analisi sono condotte sulla base di un set di indicatori di impatto che mettono in relazione le spese che la popolazione insediata sostiene per l'accesso a beni e servizi d'uso quotidiano (Istat, 2020) i fattori connessi (Fig. 2) e i relativi impatti ambientali su scala locale. Gli indicatori sono associati a sei principali categorie di spesa: abbigliamento, mobilità, cibo, abitazione (energia per il riscaldamento, elettricità, acqua calda sanitaria e cottura), svago e comunicazione, istruzione e altri servizi. L'impatto complessivo è misurato in impatto pro-capite per abitante espresso in mq di superficie di territorio necessaria alla produzione di beni e servizi indispensabili a soddisfare i bisogni della comunità insediata e di CO₂ emessa per la loro trasformazione e uso. I due parametri consentono di quantificare gli impatti ambientali legati agli stili di vita di chi abita il territorio e valutare la sostenibilità di scelte progettuali misurando il contributo nella riduzione degli impatti ambientali associati alla quotidianità dell'abitante.

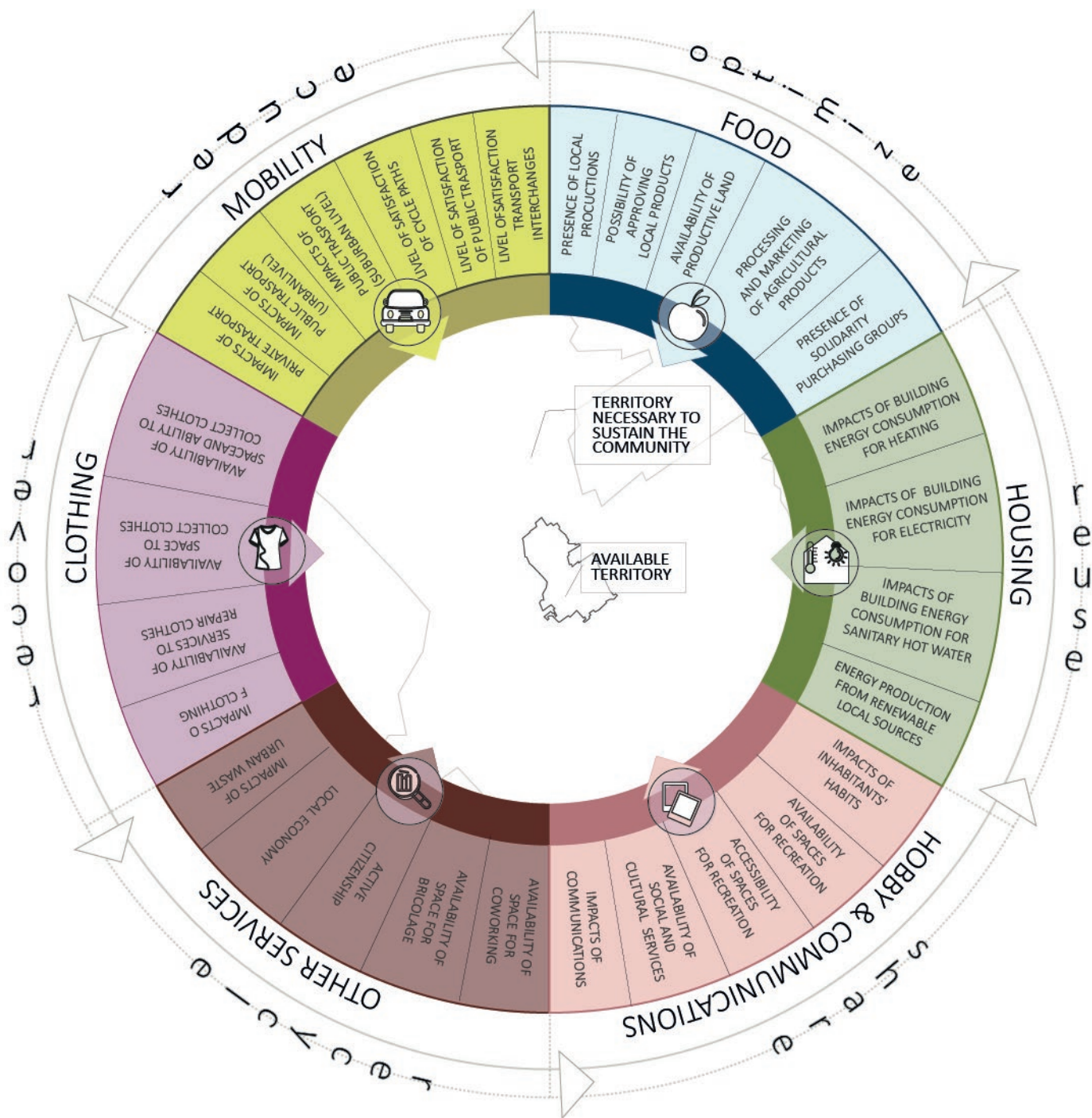
L'esperienza progettuale è proposta sottoforma di gioco di ruolo secondo un approccio *game-based learning* (Papathanasiou, 2021) e adotta le logiche, sviluppandone approfondimenti, di un *serious game* per progettare la sostenibilità urbana (Rogora,

2020), che vuole configurarsi come spazio virtuale interattivo e collaborativo all'interno del quale i diversi portatori di interesse, in qualità di giocatori, possono comprendere e simulare scenari di trasformazione, cercando soluzioni condivise appropriate alle specificità del territorio.

Struttura e articolazione del metodo

Il metodo è strutturato per fasi sequenziali e iterative che si articolano in *fase analitico-conoscitiva*, finalizzata alla costruzione del campo di gioco, e *fase interpretativa-prefigurativa*, finalizzata alla costruzione del quadro esigenziale specifico (Fig. 3). Lo strumento che ne discende si configura come un *framework* per l'integrazione di soluzioni tecniche e funzionali e la costruzione di un quadro di conoscenza delle variabili di progetto che incrementano gradualmente dati e informazioni per giungere a un risultato finale condiviso. Il processo è basato su uno scambio multi-attoriale che prefigura scenari di trasformazione valutando gli effetti delle modifiche operabili nel campo di gioco. Le modifiche possono essere operate alla scala urbana o alla scala edilizia e sono descritte nei *database* delle carte divise in 'azioni di comportamento' e 'azioni di progetto' (Fig. 4). Ciascuna carta azione esplicita gli effetti ambientali che l'intervento può determinare, le modalità di calcolo degli



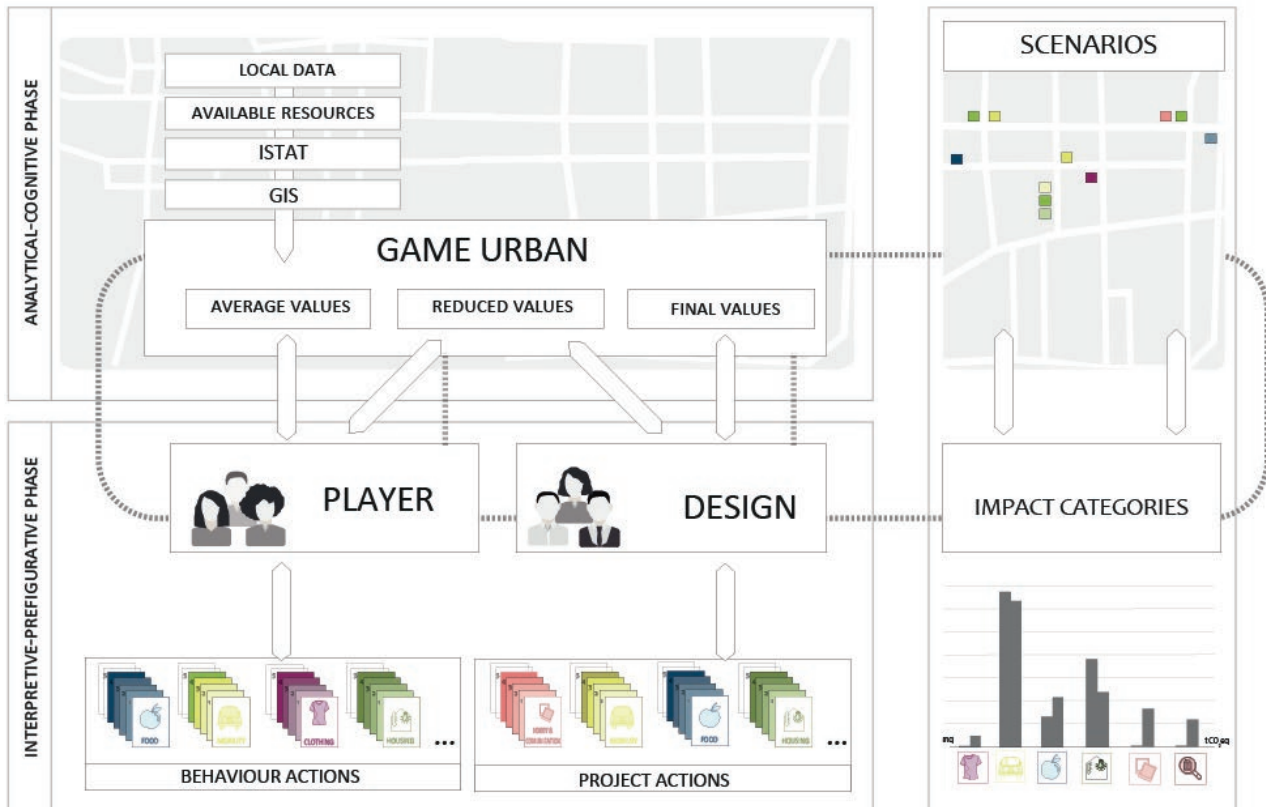


index of land availability per settled inhabitant; on the other hand, they represent a context that has undergone a shrinking phenomenon with high land availability per inhabitant. The focus of the research in addressing the issue regarding the two territories lies in the desire to bring out their vulnerability potential, which is connoted by diverse factors and offers numerous conditions for transition to a sustainable local development.

Methodological approach, structure and articulation of the method
 The research originates from environmental impact analyses and the construction of an accounting tool by adopting a simplified approach considering the *ecological footprint* and which tends to determine the local footprint and quantify the effect of certain transformative actions involving community behavioural changes. The analyses are conducted with the

help of a set of impact indicators that are related to the expenditure that the settled population incurs to access everyday goods and services (Istat, 2020) and the corresponding environmental impacts on a local scale (Fig. 2). The indicators are associated with six main expenditure categories: clothing, mobility, food, housing (energy for heating, electricity, domestic hot water and cooking), hobbies and communication, education and other services. The

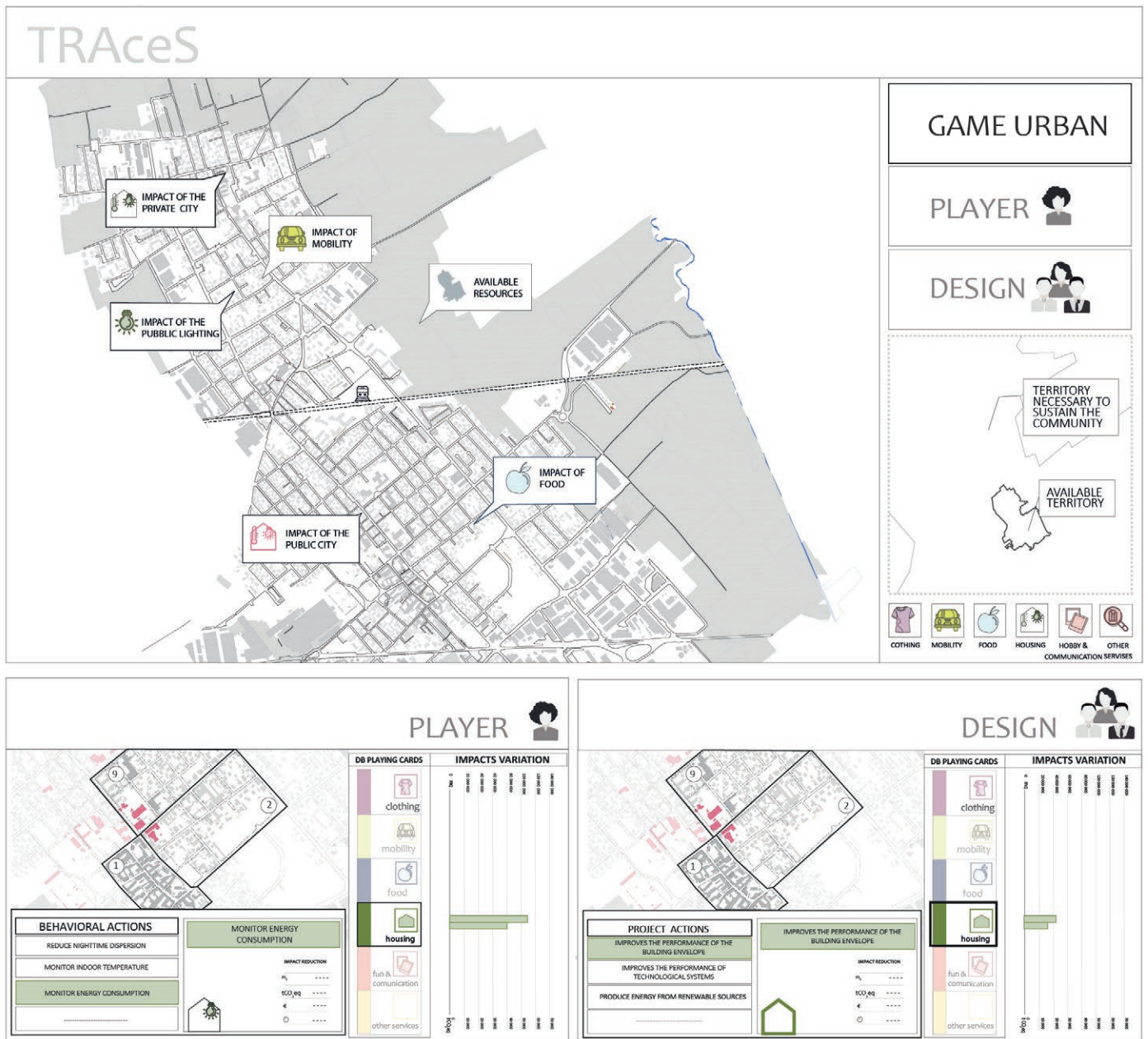
overall impact is measured in per capita impact per inhabitant, expressed in square metres of area required for the production of goods and services essential to meet the needs of the settled community and in the CO₂ emitted for their transformation and use. The two indicators allow the quantification of the environmental impacts related to the lifestyles of those who inhabit the area and the assessment of the sustainability of project choices by measuring



TRAcES
IMPACT CATEGORIES

BEHAVIOUR ACTIONS	MOBILITY	FOOD	HOUSING	HOBBY & COMMUNICATION	OTHER SERVICES	
1 Repair and recover clothing	1 Change your habits of travel	1 Change the habits of feeding	1 Control of nighttime dispersion	1 Plan low-impact trips	1 Reach out to outreach services in your neighborhood	
2 Buy durable clothing	2 Replace your vehicles	2 Buy local food	2 Control of indoor temperature	2 Plan low-impact trips	2 Repair, recycle and recover everyday items	
3 Buy used clothes	3 Share trips	3 Reduce consumption of ready-made meals	3 Reduce the use of electrical appliances	3 Conduct off-line activities	3 Attention to proper waste disposal	
4 Reduce speed while driving	4 Produce food at home	4 Control of temperature and water use	4 Reduce data transfer to what is necessary	4 Share good practices		
PROJECT ACTIONS	1 Local marketplace	1 Build bike path	1 Build urban gardens	1 Realize envelope insulation	1 Build shared spaces for recreational activity	1 Build gathering spaces for up cycling practices
2 Community tailoring shop	2 Build velostation	2 Build a shared kitchen	2 Replace implants	2 Build shared spaces for educational activities	2 Build shared spaces for craft and hobbies	
	3 Build cycle shops	3 Activate a solidarity buying group	3 Produce energy locally	3	3	
	4 Increase dedicated buses and bus stops	4 Make a hydroponic greenhouse	4 Build passive systems	4	4	
	5 Builds electric columns	5 Build water houses	5 Changes the permeability of outdoor spaces			

05 |



how much they contribute to reducing the environmental impacts associated with the inhabitants' daily lives. The design experience is proposed in the form of a role-playing game following a game-based learning approach (Papathanasiou, 2020). The collected information is processed with the intention of configuring a digital serious game as an interactive and collaborative virtual space within which different stakeholders, as players, can understand and simulate transformation scenarios, seeking shared solutions appropriate to the specificities of the territory.

The method is structured in sequential and iterative phases (Fig. 3) that augment data and project information until reaching a shared end result. Beginning with the construction of the *Game Urban*, the process is based on a multi-stakeholder exchange that prefigures transformation scenarios by evaluating the effects of operable changes in the playing field. The changes are described in the action card databases "behaviour" and "project" (Fig. 4). The method has two main phases: analytical-cognitive phase and interpretive-prefigurative phase.

Analytical-cognitive phase
The analytical-cognitive phase characterises the phase of knowledge of the territory that aims to build the information bases of the game. The construction of *Game Urban* (Fig. 5) involves the preparation of thematic maps and spreadsheets that allow the average values of the initial environmental impact to be estimated, based on which urban sustainability scenarios are built. The investigation is conducted through the collection of data and information, associated or associable with individual build-

ings, census sections or the entire territory, implemented by visual surveys and open-data or open-source contents. The collected information is processed on a GIS platform and aggregated into the main factors described below. The data also represent the control parameters for the transferability of design alternatives in the playing field. These data concern:

- geometric factors;
- technological factors;
- demographic factors;
- socio-economic factors.

impatti, i requisiti di progetto e i costi economici per la realizzazione.

Fase analitico-conoscitiva

La fase *analitico-conoscitiva* caratterizza la fase di conoscenza del territorio ed è contraddistinta da un'indagine preliminare che ha lo scopo di costruire le basi informative del gioco. La costruzione del *Game Urban* (Fig. 5) riguarda la preparazione di mappe tematiche e dei fogli di calcolo che consentono di stimare i valori medi di impatto ambientale di partenza sulla base dei quali si costruiscono scenari di sostenibilità urbana. L'indagine è condotta principalmente sulla base di dati associati e associabili al territorio comunale, alle sezioni di censimento e ai singoli edifici, attraverso la raccolta e l'elaborazione di dati esistenti su supporto GIS, implementati da rilievi a vista e da contenuti *open source* e *open data*. I dati raccolti sono aggregati nei fattori di seguito descritti, che rappresentano anche i parametri di controllo della trasferibilità di alternative progettuali nel campo di gioco. I fattori descrivono i parametri che incidono sulle prestazioni ambientali del patrimonio costruito e degli spazi aperti e sulle prestazioni funzionali dello spazio urbano, restituiscono inoltre, un quadro di risorse disponibili e condizioni di fattibilità degli interventi.

Fattori geometrici. I dati associati alle sezioni censuarie ridisegnano l'intero contesto nazionale in specifiche aree geometriche che a seconda delle densità possono riguardare uno o più isolati, o porzioni molto più ampie del territorio. L'uso di GIS consente di sovrapporre a tali informazioni dati relativi alle caratteristiche degli edifici e degli spazi aperti che consentono di elaborare specifici indicatori di forma urbana (Morganti *et al.*, 2022) e co-

Geometric factors. Data associated with census sections redraw the entire national context into specific geometric areas that, depending on densities, may cover one or more blocks, or much larger portions of the territory. Over these areas, overlapping data on building and open space characteristics allow specific indicators of urban form to be developed (Morganti *et al.*, 2022) and thematic maps to be constructed to support the project. Features associated with building geometry (polygons) are: ground and roof footprint, volume, height, gross floor area per building, vertical envelope area exposed to the outside, and shared area. These data are collected in *urban energy consumption* spreadsheets and are implemented by visual surveys and open data with the aim of estimating the impacts from the public building stock and private residential stock sectors on the playing field.

Technological factors. The technological characteristics of building systems are extracted for each census section and associated with each polygon representative of the individual building. Istat data provide information on the number of buildings related to: age classes, building type, number of floors and state of preservation. The visual survey activity consists of associating performance values with each building against the historical threshold (transmittance, incidence of thermal bridges, air exchange, system efficiency) and additional attributes extracted from local government databases (efficiency upgrades carried out over the years). The characterisation of open spaces is also done through a survey activity that associates different levels of permeability with mapped surfaces. The presence of trees is mapped by extracting profiles from satellite photos and

struire mappe tematiche di supporto al progetto. Le caratteristiche associate alla geometria degli edifici (poligoni), riguardano l'impronta al suolo e della copertura, il volume, l'altezza, la superficie lorda di pavimento per edificio, la superficie verticale dell'involucro esposta verso l'esterno e la superficie condivisa. I dati vengono raccolti in fogli di calcolo denominati *Urban energy consumption* (Fig. 6) e sono implementati da rilievi a vista e dati open con l'obiettivo di stimare gli impatti provenienti dal comparto del patrimonio edilizio pubblico e del patrimonio residenziale privato nel campo di gioco.

Fattori tecnologici. Le caratteristiche tecnologiche dei sistemi edilizi associate ad ogni poligono rappresentativo del singolo edificio. I dati Istat forniscono informazioni sul numero di edifici distinto per classi di età, tipologia costruttiva, numero di piani, stato di conservazione. L'attività di rilievo a vista consiste nell'associare a ciascun edificio valori di prestazione rispetto alla soglia storica (trasmissione di involucro, incidenza dei ponti termici, ricambi d'aria, efficienza dell'impianto) e ulteriori attributi estratti da banche dati degli enti locali (interventi di efficientamento realizzati nel corso degli anni). Anche la caratterizzazione degli spazi aperti avviene attraverso l'attività di rilievo che associa differenti livelli di permeabilità alle superfici mappate. La presenza di alberi è mappata estraendo i profili da foto satellitari e associando allo stesso essenza e caratteristiche stagionali (sempreverde o decidue).

Fattori demografici e socio-economici. L'indagine è rivolta alla caratterizzazione della popolazione insediata sul campo di gioco. I dati sono estratti dalle indagini Istat e associati alle sezioni censuarie, in particolare individuano numero e tipologia di abitanti (età, sesso, occupazione e composizione del nucleo

associating the same essence, height and seasonal characteristics.

Demographic and socio-economic factors. The survey is aimed at characterising the population settled on the playing field. Data are extracted from Istat surveys and associated with census sections and identify the number and type of inhabitants (age, sex, occupation and household composition), average monthly expenditures of resident households, productive activities and services present in the playing field (number of enterprises, number of employees, ATECO category).

Territorial factors. Locally available territorial resources (material and immaterial) that are potentially usable in the prefiguration of project strategies are mapped and catalogued within the municipal context with respect to: present services (distribution and

degree of functionality), public assets in use or disuse (performance, state of preservation and possible conversion for functional uses), forests, arable land, uncultivated green spaces (properties, state of use and possible conversion for productive uses), solar irradiance and potential for energy production from renewable sources on individual building and census section (amount of solar irradiance incident on roofs, in the direct, diffuse and global components and in different months of the year, absolute total incidence on roofs and open spaces, differentiated distribution on open spaces in different periods of the year, total per capita annual incidence on open spaces and roofs).

Management factors. Data collection involves expenditures for the management of public services charged by local governments (lighting, municipal

familiare) spese medie mensili delle famiglie residenti, attività produttive e servizi presenti nel campo di gioco (numero di imprese, numero di addetti, categoria ateco).

Fattori territoriali. Le risorse territoriali (materiali e immateriali) localmente disponibili e potenzialmente utilizzabili nella prefigurazione di strategie di progetto sono mappate e catalogate all'interno del contesto comunale relativamente a: servizi presenti (distribuzione e grado di funzionalità), patrimonio pubblico in uso o in disuso (caratteristiche prestazionali, stato di conservazione e possibili riconversioni per scopi funzionali), boschi, seminativi, verde incolto (proprietà, stato di utilizzo e possibili riconversioni per scopi produttivi), irraggiamento solare e potenziale di produzione di energia da fonti rinnovabili su singolo edificio e sezione censuaria (quantità di irraggiamento solare incidente sulle coperture e sugli spazi aperti, nelle componenti diretta, diffusa e globale e nei differenti mesi dell'anno, quantità pro-capite annuale).

Fattori gestionali e operativi. La raccolta dati riguarda le spese per la gestione dei servizi pubblici a carico degli enti locali che si riflettono sulle spese medie mensili degli abitanti (illuminazione, rifiuti urbani, trasporti, servizi idrici, gestione degli edifici pubblici). Sono inoltre raccolti dati relativi agli strumenti locali di governo del territorio, alle normative tecniche e banche dati consultabili per la verifica della fattibilità e dell'efficacia di soluzioni progettuali da operare.

Fase interpretativa-prefigurativa

La fase interpretativa-prefigurativa, in cui si svolge la partita, è articolata da due fasi successive: fase "Player" interpretativa e una fase "Design" prefigurativa (Fig. 5).

waste, transportation, water services, management of public buildings). Data are also collected on local land-use government tools, technical regulations and searchable databases to check the feasibility and effectiveness of design solutions to be operated.

Interpretative-prefigurative phase

The interpretative-prefigurative phase in which the game takes place is divided into two successive phases: the interpretative "Player" phase and a prefigurative "Design" phase (Fig. 6). The group of players serves as a representative sample of the community, which in the guise of citizens, professionals and administrators are called to carry out activities and interact with the aim of seeking shared and effective solutions to contain the ecological footprint of the territory within sustainable limits.

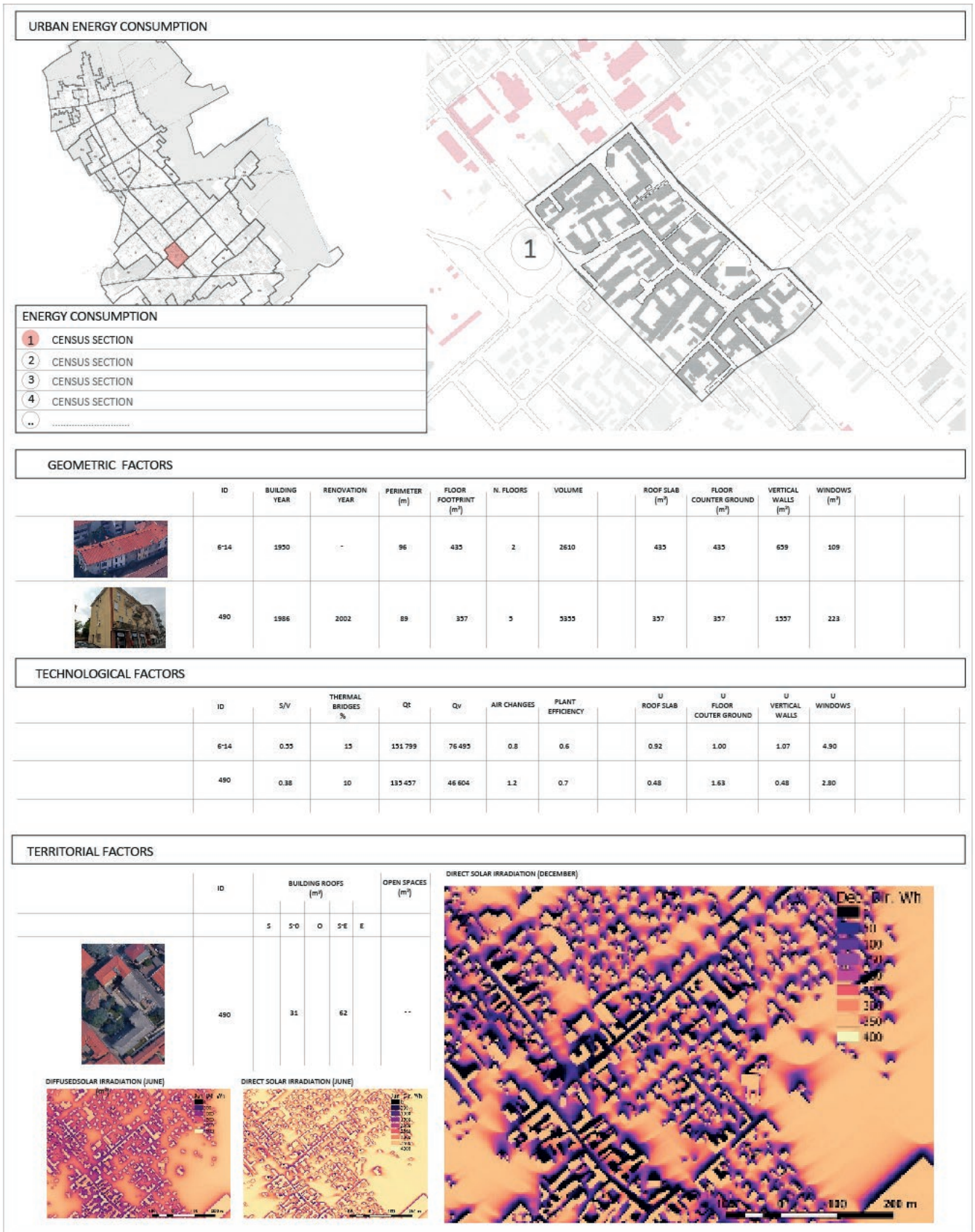
In the *Player* phase, players gain awareness of the environmental impacts associated with their lifestyles and knowledge about models, practices and technologies for more responsible living (Fig. 7). With reference to the individual impact categories, players declare their daily habits, their intentions to change their behaviours and possible obstacles. By linking each action to the specific impact indicator, the procedure associates its quantity contribution in per capita terms of productive land and CO₂; this clarifies the impact reduction associated with a given action and facilitates the understanding of the environmental burden resulting from certain behaviours and the possible reductions induced by other more responsible ones. Choosing to adopt behaviours will require engagement throughout the game to bring

Il gruppo di giocatori rappresenta un campione rappresentativo della comunità, che nelle vesti di cittadini, professionisti, amministratori è chiamata a svolgere attività e interagire con l'obiettivo di cercare soluzioni condivise ed efficaci a contenere l'impronta ecologica del territorio nei limiti sostenibili. Nella fase *Player* i giocatori possono acquisire consapevolezza degli impatti ambientali associati ai propri stili di vita e conoscenze modelli comportamentali, buone pratiche e soluzioni tecnologiche e funzionali. Con riferimento alle singole categorie di impatto, i giocatori dichiarano le proprie abitudini quotidiane, gli intenti di modifica dei propri comportamenti e le eventuali cause ostative. A ciascuna dichiarazione, collegata allo specifico indicatore di impatto, la procedura associa il relativo contributo di quantità pro-capite di terreno produttivo e CO₂eq, rendendo esplicito la riduzione di impatto associata ad una determinata azione e facilitando la comprensione del peso ambientale derivante da determinati comportamenti. La scelta di adottare comportamenti ne richiederà l'assunzione personale per l'intera durata del gioco, in modo da far emergere conflitti potenziali tra sostenibilità e accettabilità sociale nella attuazione di strategie progettuali teoricamente efficaci. La fase *Player* è finalizzata alla comprensione della capacità dell'ambiente costruito di favorire abitudini quotidiane più responsabili. Attraverso il processo partecipativo, è possibile comprendere le trasformazioni più adeguate a costruire una quotidianità sostenibile del territorio, compatibile con le esigenze degli abitanti e le risorse disponibili. Le informazioni sono registrate nel sistema e raccolte dal gruppo di lavoro con l'obiettivo di orientare la fase *Design* in cui le 'azioni di progetto', ossia le carte da gioco, rappresentano alternative di solu-

out potential conflicts between sustainability and social acceptability in the implementation of theoretically effective design strategies. Moreover, the *Player* phase is aimed at understanding the ability of the built environment to foster more responsible daily habits. Through the participatory process, the most appropriate transformations are understood to build sustainable daily routines in the area, compatible with the needs of inhabitants and available resources. Information is recorded in the system and collected by the working group; the goal is to guide the *Design* phase where 'project actions' represent alternatives of technical/functional solutions oriented to maximise locally available resources and/or mitigate environmental impacts in the playing field.

Trial contexts and research developments

The case studies on which the research is based represent two different contexts with different geographic, settlement, demographic and socio-economic conditions. Though different, these examples of "territorial fragility" are comparable by their need of intervention, which is specific to peripheral and internal areas and which require the identification of appropriate intervention strategies. For both contexts, in the analytical-cognitive phase aimed at preparing the playing field, an estimate of the environmental impact valued in the respective impact categories was drawn up and action maps (Fig. 8) were constructed, which returned percentage values of local ecological footprint reduction with respect to the parameters to be associated with them.



zioni tecniche/funzionali orientate a massimizzare le risorse disponibili localmente e/o mitigare gli impatti ambientali nel campo di gioco.

Contesti di sperimentazione e sviluppi della ricerca

I casi studio su cui la ricerca lavora rappresentano due ambiti differenti per area geografica, caratteristiche insediative, demografiche e socio-economiche. Sono esempi di realtà “fragili” certamente differenti, ma accumulate dalla necessità di individuare strategie di intervento appropriate. Per entrambi i contesti nella fase di preparazione del campo di gioco, sulla base di dati statistici, è stata elaborata una stima dell’impatto ambientale discretizzato nelle rispettive categorie sulla base della quale sono state sviluppate le carte azioni di progetto (Fig. 8).

In entrambi i casi studio le azioni proposte intendono simulare le riduzioni di impatto legate ad interventi rivolti in generale al miglioramento dell’accessibilità ai servizi urbani di prossimità, della mobilità sostenibile, dell’efficientamento energetico e funzionale del patrimonio edilizio e della qualità eco-sistemica, sottraendo spazi antropizzati a favore di spazi verdi attrezzati e di soluzioni *nature based solution*. A scala urbana le azioni riguardano: la realizzazione di una pista ciclabile di collegamento ai luoghi di interesse pubblico e ai nodi di interscambio e l’implementazione di soste dedicate al trasporto pubblico; la conversione degli spazi dedicati alla sosta delle autovetture private con la realizzazione di velostazioni, ciclofficine e di dispositivi per incentivare l’utilizzo di veicoli elettrici e biciclette (colonnine di ricarica per i veicoli elettrici e soste dedicate); la realizzazione di corridoi verdi con spazi verdi di bioritenzione

water dispenser stations. On a building scale, the interventions are aimed at improving the energy-environmental performance of public and private heritage. The actions mainly concern the efficiency of the building envelope, the replacement of plant equipment and the local production of energy by exploiting the favourably exposed roofs of private or industrial buildings. In the case of Bojano, the project actions that have been most investigated so far similarly concern the improvement of public mobility with the creation of a bike path and connection to public places and interchange nodes, the activation of a public transport service and the efficiency of public lighting. To improve accessibility to urban services, the proposed actions concern providing urban spaces with devices to facilitate the use of sustainable mobility (charging stations for electric vehicles,

In the case of Rescaldina, the proposed project actions concern the improvement of public mobility with the construction of a bike path and connection to places of public interest, the construction of velo-stations, green spaces and urban gardens to replace the current parking lots for private cars, the replacement of public transport with more effective means and the implementation of dedicated stops. The interventions are also aimed at improving accessibility to urban services and the eco-systemic quality of intermediate open spaces. The actions concern providing urban spaces with devices to facilitate the use of sustainable mobility (charging stations for electric vehicles, racks, cycle workshops) or accessibility to services to encourage the recovery and recycling of everyday objects (markets, community tailors, creative labs) and the construction of

1 DECLARE YOUR TRAVEL HABITS

2 CHANGE YOUR TRAVEL HABITS

PLAYER card 1M

1 DECLARE YOUR TRAVEL HABITS

TYPE OF VEHICLE MOVE < 5 KM	mg/km	CO ₂ eq/km	km traveled	€/km	time spent	TYPE OF VEHICLE MOVE > 5 KM	mg/km	CO ₂ eq/km	km traveled	€/km	time spent
PRIVATE CAR	1.05	0.133		0.12		PRIVATE CAR	1.05	0.133		0.12	
CARS - MOTORCYCLES	0.58	0.094		0.10		SUBURBAN BUSES	0.53	0.069		0.20	
URBAN BUSES	0.53	0.069		0.20		LOCAL TRAINS	0.20	0.069		0.20	
TRAM AND METRO	0.20	0.042		0.20		AV TRAINS	0.30	0.120		0.20	
ELECTRIC VEHICLES	0.13	0.043		0.05		PLANES	1.05	0.594		0.30	
BICYCLE						ELECTRIC VEHICLES	0.13	0.043			
TOTAL						TOTAL					

2 DECLARES CHANGES IN YOUR TRAVEL HABITS

TIPOLOGIA DI MEZZO SPOSTAMENTO < 5 KM	km percorsi	mg/km	CO ₂ eq/km	€/km	tempo impiegato	TIPOLOGIA DI MEZZO SPOSTAMENTO > 5 KM	km percorsi	mg/km	CO ₂ eq/km	€/km	tempo impiegato
AUTO PRIVATA A GASOLIO		1.05	0.133			AUTO PRIVATA A GASOLIO		1.05	0.133		
AUTO MOTOCICLI		0.58	0.094			AUTOBUS EXTRAURBANI		0.53	0.069		
AUTOBUS URBANI		0.53	0.069			TRENI LOCALI		0.20	0.069		
TRAM E METRO		0.20	0.042			TRENI AV		0.30	0.120		
VEICOLI ELETTRICI		0.13	0.043			AEREI		1.05	0.594		
BICICLETTA						VEICOLI ELETTRICI		0.13	0.043		
TOTAL						TOTAL					

DECLARES THE OBSTACLES THAT PREVENT CHANGE

... NO EFFICIENT BICYCLE AND PEDESTRIAN PATHS

... NO BUS STOPS NEARBY

... THERE ARE NO CHARGING STATIONS FOR ELECTRIC VEHICLES

... THERE ARE NO SECURE BICYCLE PARKING LOCATIONS

Impact reduction per Km travelled

km	mg/km	CO ₂ eq/km	€/km	minuti/km
	-1,05	-0,133	-0,065	+2-3

Indicates the km of cycle path to be built.

PROJECT REQUIREMENTS

Security

Accessibility

COST OF INTERVENTION

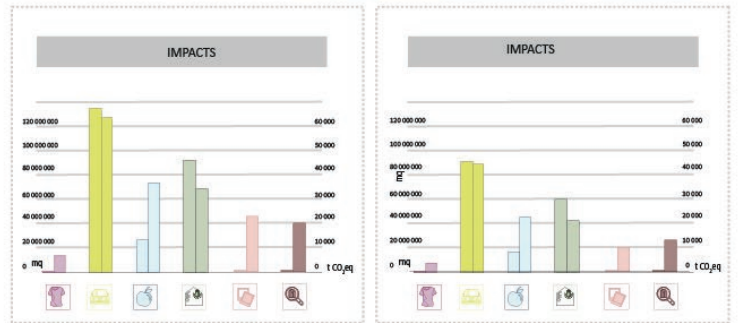
LOCAL REGULATIONS

DESIGN card 1M

CONTEXTS OF EXPERIMENTATION

MUNICIPALITY OF RESCALDINA (MI)

MUNICIPALITY OF BOJANO (CB)



IMPACTS BY INDICATOR CATEGORIES



CARDS "ACTIONS OF PROJECT"

racks, cycle workshops) and accessibility to services to encourage the recovery and recycling of everyday objects (community tailors) and a collection point of everyday products that can be used for up-cycling practices). On a building scale, the interventions are aimed at improving the energy-environmental performance of public and private heritage. The actions mainly concern the efficiency of the building envelope, the replacement of plant equipment and

the production of biomass to meet local heating needs by exploiting the local territorial resources available.

Conclusions

The results of the reported experimental activities represent a first attempt to provide decision-makers and communities with tools of knowledge and to verify the effectiveness of procedural and design solutions in the context of initiatives in the process of regenerat-

ing cities and territories. The method is supported by digital tools and participatory approaches and seeks to combine the need to re-innovate housing space with the need to change lifestyles practised within it and the opportunity to build impact-neutral housing scenarios by maximising the use of locally available resources. The peculiarity of the proposed method lies in the attempt to search for relationships among inhabitant-envi-

ronment-nature. The redevelopment project expands the field of action in a multi-scale and multi-actor vision and defines application guiding principles aimed at specific actions to meet the overall demand framework in which the transferability of functional and technological solutions is related to the context and considers the behaviour of individuals as a fundamental component in evaluating the effectiveness of the design solution.

e infiltrazione e di raccolta per il riutilizzo delle acque piovane. Sotto un profilo funzionale le azioni riguardano il riuso di spazi di proprietà della pubblica amministrazione per incentivare il recupero di oggetti di uso quotidiano che possono essere destinati a pratiche di up-cycling (mercatini, sartorie di comunità, lab creativi), la realizzazione di spazi dedicati ad attività condivise e di spazi per la produzione e l'approvvigionamento di prodotti alimentari (orti urbani e case dell'acqua). A scala edilizia le azioni di progetto sono rivolte al miglioramento delle prestazioni energetico-ambientali del patrimonio pubblico e privato con interventi di efficientamento dell'involucro edilizio e degli apparati tecnologici.

Particolare attenzione è rivolta alla comprensione delle potenzialità insite nella valorizzazione delle risorse disponibili localmente per soddisfare anche parzialmente i fabbisogni delle popolazioni insediate e sviluppare processi di autosufficienza. Nel caso di Rescaldina, tali processi si legano alla possibilità di produrre energia rinnovabile sfruttando le coperture favorevolmente esposte di edifici pubblici e privati e degli edifici del comparto industriale e commerciale, che rappresentano una quota parte rilevante sul territorio, e alla conversione dei vuoti urbani con pratiche di *urban farm*. Nel caso di Bojano, l'indagine è rivolta alla comprensione del potenziale insito nello sfruttamento del terreno produttivo che potrebbe favorire lo sviluppo di filiere locali legate alla rivalutazione dei terreni agricoli e boschivi in abbandono e promuovere filiere agroalimentari e forestali anche rivolte alla produzione di biomasse utili a sostenere il fabbisogno di riscaldamento invernale locale.

Research developments will be aimed at strengthening the methodological approach through interdisciplinary collaborations aimed at improving the degree of effectiveness and practicability in the proposed method. The methodology requires an in-depth analysis of the ability to interpret the data and involves various stakeholders and a robust experimentation to validate the achieved results and develop the calculation procedures with a view to validating further project actions. The in-depth studies will be the subject of the next phases of the research that will concern the application of the method in the municipality of Rescaldina.

NOTES

¹ *The paper displays some results of departmental research conducted thanks to funding by EXFarb (Dipartimento di Architettura e Studi Urbani del Politecnico di Milano) and conveyed into a research grant under the project Territorial Fragilities (Dipartimento di Eccellenza - DASTU).*

² The images were processed by the authors of the article.

Conclusioni

Gli esiti delle attività sperimentali esposte nel contributo rappresentano un tentativo di fornire ai decisori e alle comunità strumenti di conoscenza e verifica dell'efficacia di soluzioni processuali e progettuali nell'ambito delle iniziative in corso di rigenerazione di città e territori. Il metodo, con l'ausilio di strumenti digitali e approcci partecipativi, cerca di coniugare l'esigenza di rinnovo dello spazio abitato con l'esigenza di modificare stili di vita che si praticano al suo interno e l'opportunità di costruire scenari abitativi *carbon neutral* ottimizzando le risorse disponibili localmente. Il progetto di riqualificazione amplia il campo di azione in una visione multi-scala e multi-attore e definisce principi guida applicativi mirati ad azioni specifiche per soddisfare il quadro esigenziale complessivo, in cui la trasferibilità di soluzioni funzionali e tecnologiche è relazionata al contesto e considera il comportamento degli individui come componente fondamentale nella valutazione dell'efficacia delle soluzioni progettuali.

Gli sviluppi della ricerca saranno rivolti a rafforzare l'approccio metodologico attraverso l'apertura a collaborazioni interdisciplinari rivolte a migliorare il grado di efficacia e praticabilità nel metodo proposto. La metodologia richiede approfondimenti sulla capacità di interpretazione del dato e di coinvolgimento dei diversi portatori di interesse e una solida sperimentazione per validare i risultati raggiunti e mettere a punto le procedure di calcolo. Gli approfondimenti saranno oggetto delle prossime fasi della ricerca inerenti l'applicazione sperimentale del metodo TRAcS nel comune di Rescaldina.

NOTE

¹ Il paper illustra gli avanzamenti di una ricerca dipartimentale nata da un finanziamento EXFarb del Dipartimento di Architettura e Studi Urbani del Politecnico di Milano e convogliata in un Assegno di Ricerca condotto nell'ambito del progetto Fragilità Territoriali del Dipartimento di Eccellenza del DA-StU. Responsabile scientifico: A. Rogora.

² Le immagini sono state sviluppate dagli autori dell'articolo.

REFERENCES

- Baccini, P. and Brunner, P.H. (2012), *Metabolis of the anthroposphere: analysis, evaluation, design*, Second edition, MIT Press, Cambridge, US.
- Berners-Lee, M. (2020), *How Bad Are Bananas? THE Carbon Footprint of Everything*, Profile Books Ltd.
- Clementi, M. (2019), *Progettare l'auto-sostenibilità locale*, Edizioni Ambiente, Milano.
- Elhacham, E., Ben-Uri, L., Grozovski, J. et al. (2020), "Global human-made mass exceeds all living biomass", *Nature*, Vol. 588, pp. 442-444.
- EC (2019a), "The European Green Deal", available at: <https://eur-lex.europa.eu/legalcontent/EN/TXT/?qid=1588580774040&uri=CELEX:52019DC0640> (accessed March 2022).
- EC (2019b), Directorate-General for Research and Innovation, "The human-centred city: opportunities for citizens through research and innovation", Publications Office, available at: <https://data.europa.eu/doi/10.2777/859158> (accessed March 2022).
- Griffin C., Rachel A.B., Avi I.F., Nicholas S.S., Mason K., Ignacio L.G., Yinon B., Ron M., Rob P., (2022), "Anthroponumbers.org: A quantitative database of human impacts on Planet Earth", *Patterns*, vol. 3, Issue 9. <https://doi.org/10.1016/j.patter.2022.100552>
- Gualart, V. (2015), "From Urban planning to Urban Habitat", *Techne - Journal of Technology for Architecture and Environment*, Vol. 10, pp. 24-27.
- ISPRA, (2021), *Italian Greenhouse Gas Inventory 1990-2019. National Inventory Report 2021*. Rapporti 341/2021.
- Istat (2020), *Indagine sulle spese medie mensili delle famiglie italiane*.
- Magnaghi, A. (2020), *Il Principio territoriale*, Bollati Boringhieri, Torino.
- Manzini E. and Francois J., (2003), *Quotidiano sostenibile. Scenari di vita urbana*. Edizioni Ambiente, Milano.
- Manzini E., (2015), *Design when Everybody Design. An Introduction to Design for Social Innovation*, The MIT Press, Cambridge, Massachusetts, USA.
- Morganti, M., Clementi, M. and Rogora, A. (2021), "Open-Source Integrated Mapping of Urban Form and Solar Radiation for Environmental Design", in John Littlewood Robert J. and Howlett Lakhmi C. Jain (Eds.), *Sustainability in Energy and Buildings*, Springer Nature Singapore, pp. 377-386.
- Papathanasiou, J, Tsaples, G. and Blouchoutzi, A. (2021), *Urban Sustainability. A game-based Approach*, Springer Cham.
- Rogora, A. (2020), *New Proposals for Sustainable Design: The Imitation Game as an Experience of Shared Co-design*, in John Littlewood Robert J. and Howlett Lakhmi C. Jain (Eds.), *Sustainability in Energy and Buildings*, Springer Nature Singapore, pp. 527-537.