

# A new Decision Support Tool for assessing cities sustainability levels: the IBTool software

Giuliano Poli<sup>1,\*</sup>, Stefano Cuntò<sup>1</sup>, Dario De Vita<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Department of Architecture, University of Naples Federico II, Via Toledo 402, 80134 Napoli, Italy; giuliano.poli@unina.it; stefano.cunto@unina.it

<sup>2</sup> IT consultant on the Research Project of National Relevance (PRIN) GLOSSA at Department of Architecture, University of Naples Federico II, Via Toledo 402, 80134 Napoli, Italy; devitadario@gmail.com

\* corresponding author

## Keywords

Neighbourhood Sustainability Assessment Tools (NSATs), digital tools, Decision Support Systems (DSS), SDG 11 Key Performance Indicators (KPI), MCDA

## Abstract

Digital Tools for urban sustainability and Neighbourhood Sustainability Assessment Tools (NSATs), designed to certify and promote sustainable development initiatives at both neighbourhood and building scales, are gaining increasing relevance in supporting and facilitating city monitoring and transformation processes. These tools can generate enabling impacts on street-level bureaucracy and enhance the capacity of Public Administrations (PAs) to pursue local sustainability goals aligned with the directives of the 2030 Agenda. However, data fragmentation, limited availability, and difficulties in calculating urban-scale indicators often hinder their definition and monitoring. In such a context, it becomes essential to identify Key Performance Indicators (KPIs) that are consistent with territorial specificities and effectively measure sustainability performance. In response to this need, the Research Project of National Relevance (PRIN) GLOSSA has developed an open-source software called IBTool, which functions as a Decision Support System (DSS) based on the Goal 11 indicators of the SDGs. IBTool is designed to assist PAs in collaborative processes of KPI validation, selection, and weighting, integrating clustering algorithms and Multi-Criteria Decision Analysis (MCDA) to evaluate the sustainability performance of neighbourhoods and buildings, as well as the impacts of projects at different scales. The aim of this contribution is to show the architecture and development phases of IBTool, designed to combine scientific robustness, operational flexibility, and multi-level approaches in line with the 2030 Agenda.

## 1. Introduction

Digital tools designed to assess sustainability performance at the urban scale can have significant impacts on Public Administrations (PAs) in terms of work reorganization, reduction in decision-making discretion at various levels, and support for operational choices aimed at achieving the sustainability targets underpinning urban agendas (Phillis et al., 2017).

The balance of ecological, social, and economic capitals as a paradigm of sustainable cities, within a strong sustainability framework (Victor et al., 1998; Cerreta et al., 2014), is hindered not only

by the uneven distribution of economic resources but, more importantly, by management gaps that can generate various types of negative externalities (Camagni et al., 1998). Consequently, it becomes necessary to identify priority objectives through inclusive and structured processes for validating relevant performance and impact indicators for urban transformations. It requires methodological approaches that ensure active engagement from different stakeholders and the reliability of variables used to assess urban development dynamics (Poveda & Lipsett, 2011). To define priorities effectively, it is essential to analyse the specific context, local needs, and place-based indicators capturing the complexity of urban settings (Fusco Girard et al., 2014). This process relies on empirical data, scenarios planning, and dialogue among public-private actors, local communities, specialists and academic institutions (Mecca et al., 2023). An inclusive approach ensures that decisions reflect a shared vision, incorporating diverse perspectives and addressing a wide range of needs. Furthermore, the validation of performance and impact indicators plays a crucial role in measuring the effectiveness of urban transformations and policy (Dizdaoglu, 2017). This requires a structured process based on indicators selection and empirical data comparisons, ensuring that KPIs are relevant, measurable, and capable of capturing the real effects of urban policies in terms of accessibility, social inclusion and economic efficiency as recommended by SDGs.

The impact of digital innovation on urban transition processes involving PAs has long been the subject of debate in several countries worldwide (Carter et al., 2022). These impacts are conceived as the ways in which technological tools are employed and how work reorganization occurs at both tactical and operational levels (Orlikowski & Iacono, 2001).

Observing a lack of empirical research on the different types of technologies and the ways digital transitions influence the work of PAs, Marienfeldt et al. (2024) highlighted that this field of inquiry requires thorough exploration, particularly concerning the impacts of technological transitions on *street-level bureaucracy*. The three prevailing theses regarding the use of digital tools are, thus, the reductionist (i), enabling (ii), and continuity (iii) theses. The first (i) warns against the risks of technological control that could reduce the prerogatives of *street-level bureaucracy*. The enabling thesis (ii) envisions professional enhancement through broader access to information and relief from redundant and repetitive tasks. The third thesis (iii) emphasizes how *street-level bureaucracy* can resist or circumvent regulations to safeguard its discretion, highlighting the coping strategies adopted in the digital era (Marienfeldt et al., 2024).

In the context of PAs, digital tools can be categorized based on their function in decision-making processes, distinguishing between support, guidance, and decisive tools. Traditional technologies, such as digital archives and databases, play a supportive role (Henriksen, 2017), facilitating rapid documentation and structured access to information. Digital assessment tools, such as Decision Support Systems (DSS) (Simon, 2012; Keenan & Jankowski, 2019), Group Support Systems (GSS) (Ackermann & Eden, 2021), Neighbourhood Sustainability Assessment Tools (NSATs) (Pulgar Rubilar et al., 2023; Dawodu et al., 2022), or Multi-Criteria Decision Analysis (MCDA) (Cinelli et al., 2020), serve a guiding function by providing data and operational procedures useful for making informed and conscious decisions (Busch & Henriksen, 2018). Finally, automation, algorithms, and Artificial Intelligence support the adoption of Intelligent Decision Support Systems (I-DSS) (Greco et al., 2022), assuming a decisive role (Bullock, 2019).

Technological advancements in knowledge-sharing mechanisms and data processing for PAs are particularly evident in GOAL 17 (SDG17), which advocates for more accurate target monitoring to effectively guide sustainable urban transformations within a partnership framework from local to global scales (Bachmann et al., 2022). From this perspective, evaluation and DSS that complement purely economic metrics, built on robust statistical and mathematical foundations, enable the identification of the most urgent intervention areas and the assessment of policy impacts from the regional to the district scale. Integrated into decision-making processes, digital tools also offer the ability to process and visualize real-time data, simulate alternative scenarios, and promote evidence-based decision-making, positioning cities as protagonists of transformative change (Kitchin et al., 2015).

This contribution is framed within the Research Project of National Relevance (PRIN) GLOSSA – *GLOcal knowledge-System for Sustainability Assessment of urban projects*, funded in 2022 by the Italian Ministry of Public Education and coordinated by the *Politecnico di Torino* (POLITO) in cooperation with the University of Naples Federico II (UNINA) and the University of Cagliari (UNICA). The fundamental objective of GLOSSA is to define a knowledge system that supports PAs in decision-making processes aimed at territorial monitoring and the selection of sustainable urban transformation projects, utilizing established or innovative evaluation methodologies based on the indicators of SDG11.

SDG11 of the 2030 Agenda represents one of the key areas of action to enhance the performance, transparency, and shareability of city planning and management processes through sustainability target monitoring and impact assessment in urban transformation choices (Lami et al., 2024).

Emerging research trends on NSATs, aimed at assessing urban sustainability through SDG11 indicators, reveal significant advancements that emphasize the need to explore sustainability not only at the building level but also through an upscaling approach to better capture the complexities of the urban environment and the relationship between individual buildings and neighbourhoods (Bottero et al., 2019; Abastante, 2023). Specifically, Zamanidou et al. (2024) found that 44% of the sustainability frameworks reviewed consider technological implementation and stakeholder engagement as priorities for substantiating assessments, while 17% focus on the interdependencies of urban infrastructures (Zamanidou et al., 2024). Meanwhile, Mirani (2023) underscores the importance of using context-specific indicators that enhance the relevance and applicability of NSATs in different urban contexts (Mirani, 2023). Finally, the combined adoption of top-down and bottom-up methodological approaches fosters local expertise and PAs involvement in evaluation processes, ensuring the inclusion of community needs and their specific conditions (Panosso et al., 2023).

The tripartition of digital tools proposed by Marienfeldt et al. (2024) has been one of the premises for developing a DSS, conceived as an integrated open-source toolbox intended for PAs to assess sustainability levels based on SDG11 targets and, thus, select preferable transformation alternatives in terms of sustainability performance.

The software, developed by the GLOSSA research team and named the *Indicators-Based Tool* (IBTool), serves as a tool designed to support and guide the various phases characterizing a decision-making process, ensuring structured access to information and promoting the effective use of sustainability indicators. The system is not intended to be a decisive tool, meaning it does not aim to replace the Decision Maker (DM) in choices but rather to foster consensus within a working group and provide guidelines to orient project choices at the urban and building scale within an integrated sustainability perspective.

IBTool not only integrates NSATs functionality but has been also conceived as a Group Support System (GSS) in collaborative settings since the publicly displayed model serves as a «transitional object» (Ackermann & Eden, 2021). This concept is particularly pertinent to the overall software development process which functions as a dynamic intermediary facilitating the fluid transition between individual and collective viewpoints. The continuous evolution of the model mirrors the group's shifting perspectives, fostering a seamless integration of diverse insights without exerting undue pressure on individual participants. Indeed, a typical IBTool-supported session begins with the systematic capture of individual contributions, which are then projected onto a shared display. This process naturally leads to modifications—edits, additions, and deletions—that progressively transform an initial, fragmented set of inputs into a coherent representation of the group's emerging consensus. Crucially, this iterative refinement process occurs in a way that respects the organic nature of idea development, allowing viewpoints to evolve naturally rather than being forcibly aligned from the outset.

Section 2 highlights two research questions and main objectives of this contribution, which aims to show the GLOSSA knowledge system through the explanation of the fundamental steps at the basis of IBTool software development.

## 2. Objectives and research questions

Within the above mentioned research framework, a prototype of decision support tool has been developed, capable of integrating NSATs at both the neighbourhood and building scales into multi-criteria decision-making processes, supporting PAs in the key phases of project evaluation and territorial monitoring.

The GLOSSA research project includes experimental testing in the three geographical areas corresponding to the research units involved in the project. The first test aims to assess the level of sustainability achieved in three neighbourhoods in the city of Cagliari, selected based on their specific socio-economic and demographic characteristics, through the construction of composite sustainability indices. The second test involves comparing urban transformation projects within the metropolitan city of Turin based on sustainability performance linked to SDG11. Finally, the third test applies IBTool to various urban projects and planning interventions currently shaping the territory of Bacoli, in the province of Naples, to evaluate the effectiveness of the software as a tool for measuring direct impacts in collaboration with local administrations.

Two key research questions have provided the foundation for some of the methodological choices underpinning the development of IBTool within the GLOSSA project:

- Which forms of facilitation can Decision Support Systems (DSS) provide to Public Administrations (PAs) for monitoring sustainable development and guiding territorial transformation strategies?
- How do DSS account for the uncertainty arising from value conflicts, differences in opinion, information gaps, and the operational limitations of sustainability indicators?

In response to these research questions, the GLOSSA knowledge system has been conceived as a decision support tool aimed at PAs, researchers, and professionals who use indicators for measuring sustainability in their projects. A short survey on sustainability assessment tools has been presented in Section 3 to answer the first research question, while Sections 4-5 were addressed to the second question by introducing the methodological workflow and operational steps of the IBTool software.

## 3. Research projects, platforms, and tools for urban sustainability assessment

As part of the software development process, an investigation was conducted into existing platforms, research projects, and indicator-based tools using a *snowballing technique*. The objective was to deepen current knowledge of similar solutions to enhance the performance of IBTool, highlighting its innovative contribution in overcoming limitations or strengthening capabilities associated with previous applications and methods. The investigation was structured by considering scientific contributions drawn from recent literature, research projects, online tools that use indicators to address various challenges, structured databases, and recent technological advancements (e.g., digital twins).

Table 1 presents seven selected cases that provided a foundation for developing preliminary ideas and addressing issues related to software development.

In a scientific landscape characterized by the growing demand for reliable, data-driven decision-making tools, a variety of research projects, platforms, and digital solutions have emerged that use indicators to address complex urban and territorial challenges. The investigation carried out enabled the exploration of a range of resources which, despite operating in different contexts, share the common goal of supporting DMs in monitoring, analyzing, and planning interventions aimed at improving sustainability and quality of life in cities.

From the ECIU SMART-ER programme, which focuses on local and regional challenges, two key aspects have emerged that have guided the development of IBTool: the challenge-driven approach, in which research projects are co-created with stakeholders, and the use of advanced technological solutions, such as digital twins, capable of simulating future scenarios and

**Table 1.** Survey dei progetti di ricerca consistenti con IBTool

Project	Goal	Main features	Highlights	Link	Year
<b>1. ECIU SMART-ER</b>	Research and innovation ecosystem focused on urban/territorial challenges and SDGs	Challenge-based approach (1); use of indicators for smart cities and regions (2); integration of digital twins, big data (3); collaborative projects and living labs (4).	Participatory methodologies for defining and validating indicators (1); integration of real-time data and predictive analysis (2); scenario planning and multi-stakeholder evaluation (3).	<a href="https://www.eciu.eu/smart-er-for-researchers">https://www.eciu.eu/smart-er-for-researchers</a>	2021
<b>2. UrbanLab Torino – Geografie Metropolitane</b>	Cartographic and information platform of Turin	Thematic maps and dashboards (1); comparison of neighbourhoods and urban areas (2); updating of institutional data sources and field research (3).	Georeferenced representation of KPIs (1); dashboards and interactive maps to communicate indicators value (2).	<a href="https://urban-labtorino.it/mappe/geografie-metropolitane/">https://urban-labtorino.it/mappe/geografie-metropolitane/</a>	2020
<b>3. Geodesign-hub</b>	Collaborative platform for geodesign and multi-scenario planning	Spatial analysis tools integrated with participatory approaches (1); collective design sessions and scenario co-creation (2); GIS data and thematic indicators (3).	Collaborative approach for scenarios definition (1); iterative methods for selecting and evaluating indicators (2).	<a href="https://www.geodesignhub.com/">https://www.geodesignhub.com/</a>	2017
<b>4. GRINS – Piattaforma Amelia</b>	Digital platform for urban and spatial data management and analysis	Integrated environment for scenario simulation (1); institutional and open data sources collection (2); development and monitoring of urban research projects (3).	Methodologies for KPIs validation (1); use of standard data collection protocols (2).	<a href="https://grins.it/progetto/piattaforma-amelia">https://grins.it/progetto/piattaforma-amelia</a>	2022
<b>5. Argaleo</b>	Data analytics platform for areas such as mobility, energy, urban security, strategic planning	Big data analysis and interactive visualisations (1); custom dashboards for PAs and companies (2); real-time data collection from sensors and open data (3).	Advanced interface with maps, graphs and indicator filters (1); MCDA modules; real-time and scenario-based approach for improving decision-making at urban scale (2).	<a href="https://www.argaleo.com/en/">https://www.argaleo.com/en/</a>	2020
<b>6. NLAIC</b>	Dedicated artificial intelligence network with projects in various sectors (health, energy, mobility)	ML algorithms and Advanced analytics (1); integration of indicators set for predictive assessment (2); dedicated tools for decision support (3).	AI/ML modules, uncertainty management and predictive analysis (1); KPI calculation for medium/long term assessment (2).	<a href="https://nlaic.com/en/">https://nlaic.com/en/</a>	2024
<b>7. CORDIS – Smart Resilience Indicators for Smart Critical Infrastructures</b>	EU-funded project with focus on urban safety/innovation	Use of indicators to monitor projects output and infrastructure safety (2).	Standardisation and validation protocols for indicators (1); integration of risk assessment and stakeholder engagement (2).	<a href="https://cordis.europa.eu/project/id/700621">https://cordis.europa.eu/project/id/700621</a>	2016

integrating real-time data. These elements highlight the need to develop agile platforms capable of incorporating large volumes of heterogeneous information and presenting it clearly to different types of users (technicians, administrators, and citizens).

The thematic mapping proposed by UrbanLab and Politecnico di Torino, on the other hand, underscores the importance of cartographic representation and spatial analysis, in which territorial information is aggregated and presented through intuitive interfaces based on open-source methods that ensure replicability (Lami et al., 2024). A focus on collaborative and interactive dynamics is also evident in *Geodesignhub*, which integrates design tools with participatory methodologies, once again emphasizing how crucial stakeholder involvement is in ensuring shared processes for selecting and validating indicators that are relevant to the local context. Although IBTool was not conceived within a spatial framework, the key features derived from these two projects relate to the collaborative logic useful for obtaining real-time impact assessments of meta-planning projects, as well as the idea of visualizing dashboards and structured repositories of open-source territorial indicators—not only to understand the main phenomena affecting monitored areas but also to enhance territorial cohesion (Stehle & Kitchin, 2019).

The platforms *Amelia* and *Argaleo*, by contrast, are more oriented towards real-time data analysis and management, employing digital twins and advanced dashboards to monitor key parameters related to mobility, security, energy, and other urban services (Charitonidou, 2022). The integration of sensor data with institutional databases highlights one of the most pressing needs identified in this study: the ability to collect, unify, and validate heterogeneous information to achieve a coherent understanding of the urban or territorial system.

Regarding the emerging technologies, the *Netherlands AI Coalition* (NLAIC) illustrates how Machine Learning (ML) can enhance predictive analysis and the capacity to identify patterns that are not immediately evident, providing critical insights for designing targeted actions in complex sectors such as healthcare, mobility, and energy transition. This underscores the importance of implementing data analysis techniques based on shared, validated, and operational knowledge bases for project evaluation and monitoring at different scales.

Finally, EU-funded research projects such as *Smart Resilience Indicators for Smart Critical Infrastructures* (CORDIS no. 700621) confirm the trend of defining standards and guidelines for the use of indicators in security and urban innovation contexts. The European perspective also underlines the importance of transparent reporting of results and the adoption of rigorous impact assessment methodologies to ensure that public funding generates tangible and replicable effects across different contexts.

The investigation conducted has provided valuable insights for the implementation of IBTool. Firstly, the ability to organize multiple sources of indicators and offer an interactive visualization of these through user-friendly and easily interpretable dashboards is a crucial element for system usability. Secondly, the experimentation with participatory and collaborative approaches, such as living labs and geodesign, highlights the necessity of incorporating modules for active stakeholder engagement, ensuring that the definition and validation of indicators genuinely respond to the real needs of urban contexts. Moreover, the increasing focus on collaborative governance processes, which generate high levels of uncertainty, suggests the implementation of tools capable of capturing potential divergences in opinion and integrating them into decision-making processes in a democratic manner (Meijer & Bolívar, 2015).

In summary, this investigation confirms the strategic role of indicator-based solutions in promoting sustainable development and improving decision-making processes in urban and territorial contexts. Drawing from the various projects and platforms examined, IBTool gains insights to enhance its flexibility, robustness, and ability to adapt to different contexts and users.

#### **4. Methodology**

The IBTool software is configured as a multi-criteria assessment system designed to support decision-making processes in monitoring territorial progress towards sustainability targets and evaluating sustainable urban transformation projects or scenarios. Conceived to integrate a

structured set of indicators, IBTool enables the assessment and prioritization of interventions in alignment with the SDG11 targets. The tool employs scoring and ranking methodologies to determine the relevance and priority of Key Performance Indicators (KPIs), ensuring a structured, data-driven approach to facilitate sustainable urban planning decisions.

The methodological process underpinning IBTool follows a collaborative and multi-stakeholder logic based on the quadruple helix model (Cavallini et al., 2016; Roman & Fellnhofer, 2022) and was developed using the *AGILE* methodology (Misra et al., 2012). This approach involved an in-depth review of existing assessment tools, expert consultations, and focus groups, as well as empirical testing to validate its effectiveness. Specifically, in the *ex-ante* phase, the software aims to support the identification of critical intervention areas and the structuring of urban transformation projects, facilitating funding allocation and assessing proposals against Goal 11 criteria. In the *ex-post* phase, it enables the monitoring and certification of funded projects, ensuring the achievement of sustainability objectives and providing a coherent framework for performance and impact evaluation.

The development and testing activities related to IBTool have been organized within Work Package 3 (WP3) of GLOSSA, coordinated by UNINA with contributions from all research units. WP3 focuses on defining IBTool's multi-criteria methodology, prioritizing the indicators selected in WP2, and verifying its applicability across different urban contexts. The process also involves experts in assessment tools and multi-criteria analysis, ensuring a robust scientific framework. IBTool represents a key technical outcome of the GLOSSA project, offering an open-source decision-support system for sustainable urban planning and urban transformation.

In summary, the four main methods validated and tested by the research units and implemented in the software within WP3 are:

1. The classification of indicators based on qualitative evaluations using stated preference methods, including the *Delphi Fuzzy Method* (DFM), *Triangular Fuzzy Numbers* (TFN), and clustering algorithms (K-means);
2. The prioritization of indicators (weights) using the Multi-Criteria Decision Analysis (MCDA) method known as the *Best Worst Method* (BWM);
3. Sustainability performance indices using the *Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution* (TOPSIS) method;
4. The impact assessment of scenarios or actual projects on the territories.

The following section (Section 4.1) provides a detailed description of IBTool's technical requirements.

#### 4.1 IBTool technical requirements

IBTool is an open-source software developed within the GLOSSA project for the validation, selection, weighting, and evaluation of sustainability KPIs related to Goal 11 (SDG11). The software consists essentially of a client and a server and has been designed through user-friendly approach.

The client has been developed using *GDscript*, leveraging the flexibility offered by the *Godot* engine, which is released under the MIT license. This has enabled the creation of an intuitive interface optimized to reduce users' cognitive load, integrating indicators derived from sustainability protocols and scientific literature. To ensure greater autonomy and avoid external dependencies, data analysis algorithms such as K-means with *Naive Sharding* (Mayo, 2016) and decision-making methods such as BWM with the *simplex* linear programming algorithm (Rezaei, 2015), as well as the multi-criteria TOPSIS method (Hwang & Yoon, 1981; Behzadian et al., 2012), have been directly implemented within the client. This approach has resulted in a fully *stand-alone* software application, eliminating the need to install additional packages that might cause compatibility issues across different operating systems. In its current version, IBTool is fully compatible with both Windows and macOS systems.

The server, on the other hand, has been developed using *Python* and employs *Flask* for API management, communicating with an *SQLite* database for information storage. Client-server communication takes place via *WebSocket*, enabling real-time transmission of notifications and events without requiring the server to perform direct data processing. This architecture allows for a more streamlined and efficient management of operations. For deployment, *Ubuntu Linux-based* servers have been selected, providing a free and well-established open-source solution. Regarding distribution, IBTool will be available for download through a dedicated web page. The source code will be managed via *Git* and hosted on *GitHub* to promote transparency and collaboration within the open-source community. The technical documentation accompanying the official release will provide details on system requirements and the communication framework between the client and server.

Finally, to facilitate software migration between servers, dedicated tools have been developed in *BASH*, ensuring compatibility with *UNIX* systems. This choice enables easier deployment management and high platform portability. IBTool thus represents an innovative and accessible solution for sustainability indicator-based assessments, guaranteeing high performance and ease of use.

## 5. IBTool operational steps

The proposed Decision Support System (DSS) has been developed to assist PAs in selecting and prioritizing KPIs to evaluate the sustainability performance of neighbourhoods and buildings, as well as the impact of urban projects on the territory. For this reason, IBTool is designed as a modular software capable of integrating both qualitative and quantitative methods, supporting iterative processes, and ensuring the involvement of various types of users (ranging from assessment experts to stakeholders) with differentiated levels of automation and transparency.

The IBTool workflow is structured into four main phases, subdivided into ten operational steps. The main phases are:

1. Data storage
2. Validation
3. Weighting
4. Impact/performance assessment

Each phase provides intermediate results that serve as the foundation for subsequent steps, ultimately delivering recommendations and decisions based on structured analyses, scenario comparisons, and multi-criteria approaches (Figure 1).

In the workflow, various multi-criteria methods, ML algorithms, and evaluation techniques have been implemented with the aim of: (i) supporting PAs; (ii) guiding expert groups and local communities; (iii) facilitating decision-making across different stages of the decision-making process, either in a supportive, guiding, or decisive role, as detailed in Table 2.

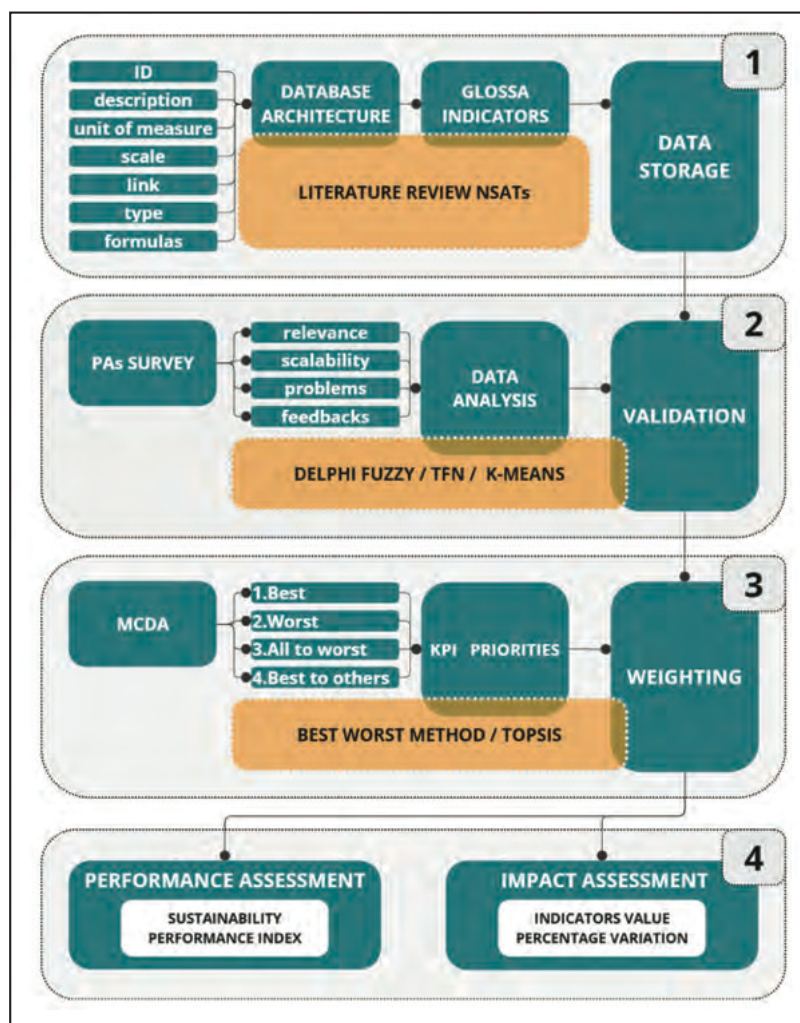


Figure 1. IBTool software methodological workflow.

Table 2. IBTool operational steps

Step	Software input	Methods/Tools	Users	Software output	DSS
1.Data Storage	Manual	Literature review	Super-User	Storage	Support
2.Validation - I round	Manual	Survey - Frequency analysis	Multi-User	Scoring	Support/Leading
3.Validation - II round	Automatic	Delphi Fuzzy	Black-boxed	Ranking	Leading
4.Validation - III round	Automatic	K-means + Naive Sharding algorithm	Black-boxed	Clustering	Leading/Decisive
5.Validation - IV round	Manual	Focus Group	Single-User	KPI selection	Leading
6.Weighting	Manual/Automatic	BWM (MCDA) with Focus Group	Single-User	Weights elicitation	Support/Leading
7.Performance Assessment - I round	Manual	Indicators measurement	Single-User	Storage	Support/Leading

Follow **Table 2**. IBTool operational steps

Step	Software input	Methods/Tools	Users	Software output	DSS
<b>8.Performance Assessment - II round</b>	Automatic	TOPSIS (MCDA)	Black-boxed	Ranking	Support/Leading
<b>9.Impact Assessment - I round</b>	Manual	Indicators measurement	Single-User	Storage	Support
<b>2.Validation - I round</b>	Manual	Survey - Frequency analysis	Multi-User	Scoring	Support/Leading
<b>10.Impact Assessment - II round</b>	Automatic	Scenario Analysis	Black-boxed	Percentage variation	Leading

The following Subsections (5.1 – 5.4) provide a detailed description of the ten operational steps within their respective four main phases.

### 5.1 Data Storage (Step 1)

In the first operational step, reserved for system's Administrators henceforth referred to as Super-Users, the collection and classification of SDG11 indicators – selected within GLOSSA's WP2 – are carried out. This phase is based on a comprehensive review of the relevant literature to ensure that the collected indicators have a solid scientific foundation and align with the project objectives.

In the experimental prototype adopted by GLOSSA, the focus has been placed on urban sustainability indicators within SDG11. However, IBTool's architecture will be sufficiently flexible to accommodate different sets of indicators. In the presented *version 0.7.1*, once the initial indicator definition phase is complete, Super-Users can enter data directly into the client via an interface that allows them to compile the main characteristics of each indicator or upload specifically structured lists in *json* format from the server.

- As shown in Figure 2, each indicator is characterised by the following items:
- *ID*. A unique identifier that allows the indicator to be traced and managed within the database.
- *Target*. Specifies the numerical identifier of the Sustainable Development Goals (SDG) target.
- *Categoria (Category)*. Identifies the macro-area or thematic domain to which the indicator belongs.
- *Tema*. Defines the specific evaluation scope of the indicator within its macro-category.
- *Descrizione (Description)*. Provides an explanatory text detailing the meaning and purpose of the indicator, essential for describing the observed phenomenon to non-expert users.
- *Unità di misura (Unit of measure)*. Specifies the metric used to quantify the indicator, as derived from literature analysis or NSATs. This can include quantitative or qualitative scales, semantic labels (e.g. Likert scale), or other types.
- *Calcolo (Formulas)*. Describes how the indicator's value is determined based on literature analysis or sustainability protocols (e.g. «EU-SILC survey»).
- *Scala di analisi (Analysis scale)*. Specifies the territorial level or the minimum spatial unit at which the indicator is calculated (building or neighbourhood).
- *Fase di utilizzo (Phase of use)*. Indicates the stage of the decision-making process where the indicator may be useful (monitoring or evaluation).
- *Fonte (Source)*. Lists bibliographic references or institutions that produce or curate the data relevant to defining the indicator.

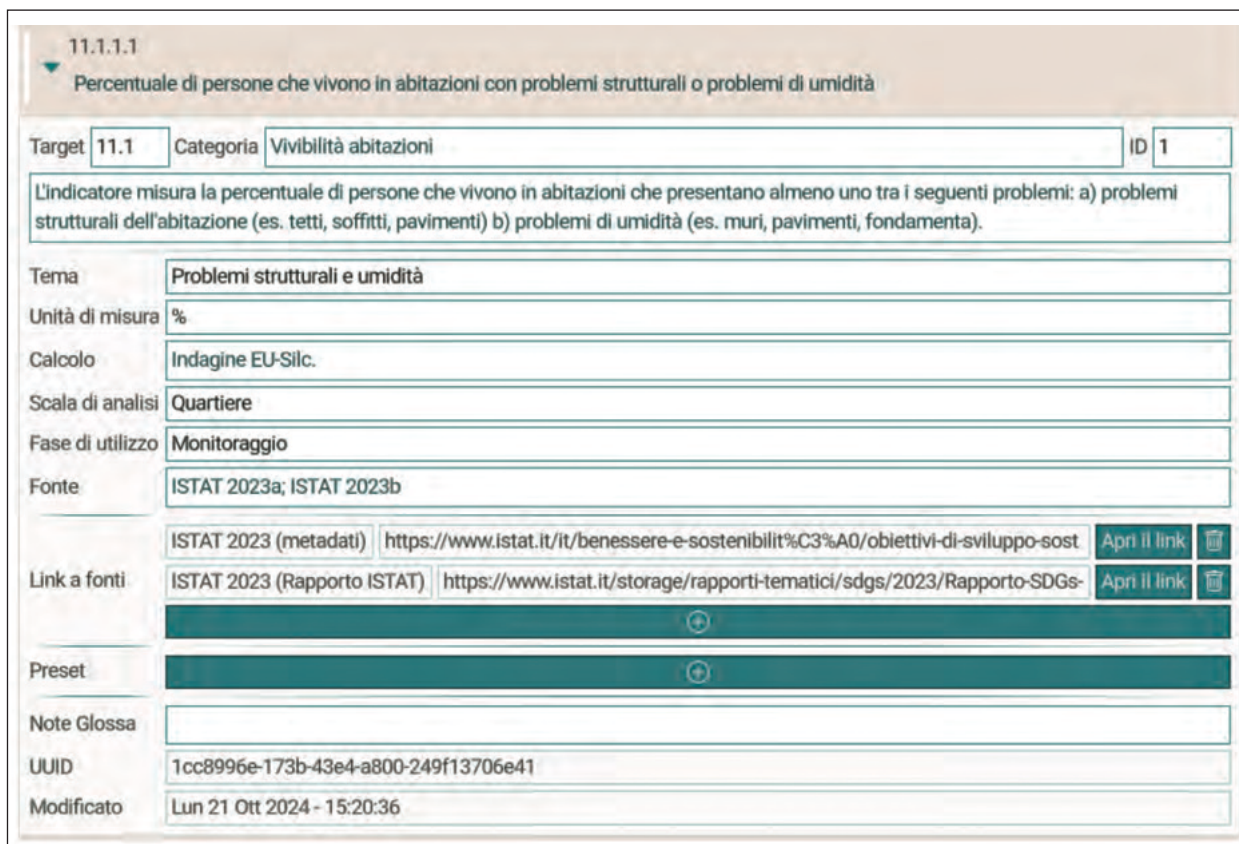
- *Link*. Provides precise references (URLs) for accessing more specific information (metadata, official reports, databases, sustainability protocols).
- *Preset*. A field that Super-Users can use to select indicators to be submitted to users for the validation phase.
- *Note Glossa (Glossa comments)*. A section for additional annotations, internal references, or comments useful for Super-Users in co-editing the database.
- *UUID*. An alphanumeric string ensuring the unique identification of the indicator within the server.
- *Modificati (Modified)*. Records when the indicator was last updated or modified, tracking the revision history.

Thanks to this structure, IBTool facilitates the creation of a well-organised repository of indicators, ensuring that each item is defined in a transparent and traceable manner. Furthermore, IBTool allows only Super-Users to view the list of collected indicators through a summary panel that provides access to the cloud.

The Super-User primarily works locally, with the option to access the list of indicators stored on the server or update it by submitting modifications, making them available to all other users. In real time, the system tracks interventions, notifying users of any updated, deleted, or newly added indicators while recording the date and time of each modification (Figure 3).

This selective sharing approach allows Super-Users to maintain control over the preliminary phases of indicator entry and potential revision before making them available to the entire working team. This facilitates and supports collaborative work, reduces conflicts, and ensures that the database evolves consistently with various operational requirements.

Finally, from the indicator panel, IBTool allows Super-Users to assign a *preset* to the indicators they wish to select based on specific validation sessions. IBTool thus makes the entire list of indicators available, which can be used either in its entirety or partially as input for the subsequent phases of the workflow.



11.1.1.1  
 Percentuale di persone che vivono in abitazioni con problemi strutturali o problemi di umidità

Target 11.1 Categoria Vivibilità abitazioni ID 1

L'indicatore misura la percentuale di persone che vivono in abitazioni che presentano almeno uno tra i seguenti problemi: a) problemi strutturali dell'abitazione (es. tetti, soffitti, pavimenti) b) problemi di umidità (es. muri, pavimenti, fondamenta).

Tema Problemi strutturali e umidità

Unità di misura %

Calcolo Indagine EU-Silc.

Scala di analisi Quartiere

Fase di utilizzo Monitoraggio

Fonte ISTAT 2023a; ISTAT 2023b

Link a fonti ISTAT 2023 (metadati) <https://www.istat.it/it/benessere-e-sostenibilit%C3%A0/obiettivi-di-sviluppo-sost> Apri il link

ISTAT 2023 (Rapporto ISTAT) <https://www.istat.it/storage/rapporti-tematici/sdgs/2023/Rapporto-SDGs-> Apri il link

Preset

Note Glossa

UUID 1cc8996e-173b-43e4-a800-249f13706e41

Modificato Lun 21 Ott 2024 - 15:20:36

Figure 2. IBTool indicators panel (software screenshot).



**Figure 3.** IIBTool indicators database management panel (software screenshot).

It is important to highlight that, at this stage, IBTool collaboratively supports the management of the indicator database by Super-Users working on its identification and classification.

## 5.2 Validation (Step 2 - 5)

In the validation round I, after selecting indicators for evaluation by experts and stakeholders, IBTool enables the visualization of the survey session, which the Super-User can generate in the previous step through the dedicated panel within the interface referred to as *Gestione Sessioni e Analisi dei dati*. Authentication is performed via an activation code provided by the Super-User to respondents, who, upon entering it, gain access to the main client interface to complete the questionnaire.

In the main interface, Single-Users see a list of indicators on the left, organized by themes and categories corresponding to the relevant targets (Figure 4). Each indicator is accompanied by an information sheet detailing its specific attributes. Users are then asked to express a preference based on the two criteria defined by GLOSSA for indicator validation:

- Relevance of the indicator concerning the evaluation goal,
- Calculability of the indicator in the given territorial context.

The semantic evaluation scale allows respondents to assign three qualitative judgments of relevance and calculability: «low,» «medium,» and «high», with an additional option «I don't know» for cases of uncertainty or lack of sufficient information regarding specific indicators.

Moreover, Single-Users can report any issues related to the indicators by selecting from predefined options:

- No issues,
- Data unavailable,
- Data unreliable,
- Partial data,
- Proprietary data,
- Other issues (with an optional text comment for further clarification).

Within this multi-stakeholder process, IBTool facilitates the completion of the questionnaire through a dynamic tutorial designed to explain the various components and how to use the panels within the interface. Once the questionnaire is completed, the Single-User has the option to review their responses to the different indicators and submit the evaluation results to the GLOSSA server via the «Submit Responses» button, which becomes accessible only upon completion of the questionnaire.

The client performs a Frequency Analysis (FA) of the responses in real time, thereby generating an initial level of insight that translates into a scoring system for the semantic judgments of Relevance, Calculability, and Issues.

In the validation round II, using the information obtained from the questionnaires and the results from the AF as input, IBTool transforms qualitative data into quantitative data through the FDM, which has been adopted to rigorously manage the validation phase, reducing uncertainty associated with expert judgments and promoting the achievement of shared consensus (Padilla-Rivera et al., 2021). The integration of the Delphi method (traditionally based on expert consultation iterations) with fuzzy logic allows capturing nuances and ambiguities often present in qualitative decision-making processes (Murray et al., 1985; Kuo & Chen, 2008).



Figure 4. IBTool panel for validation survey (software screenshot).

The following describes the operational steps of the DFM as implemented by IBTool.

The first step of the process involves the numerical translation of the input data. For each indicator and validation criterion, IBTool collects frequency data of the responses provided by the participants, assigning a numerical value to each semantic judgment based on the Saaty scale. The ratings were established as follows:

- «None» = 1,
- «Medium» = 5,
- «High» = 9.

If a participant selects the response «I don't know,» IBTool applies a score of -1 to the total number of respondents, thus reducing the sample size considered and avoiding penalizing the indicator's value. This rule ensures that ratings are calculated only based on the actual expertise of the respondents.

Subsequently, the calculation of the TFN for each indicator and criterion takes place. This number is defined through three key values: the lower bound “a,” corresponding to the lowest score selected; the upper bound “c,” representing the highest score; and the central value “b,” calculated as the weighted average of the selected categories, relating the frequency of responses to the actual number of participants.

Once the TFNs are determined for each criterion, the next step is their merging, for each indicator, via a fuzzy extender (Fuzzy Synthetic Extent). To obtain a unique value, the two triangular fuzzy numbers are combined through an average, allowing the result to be a representative value that considers both criteria with equal weight.

After this phase, the defuzzification process is applied, which transforms the TFN triple into a *crisp* value “D,” representing the composite index of relevance and computability. This is calculated using the center of gravity method, with “D” being the arithmetic mean of the three fuzzy number values. The result of this procedure generates an first quantitative-qualitative indicators ordering based on the obtained *crisp* score and their maximization according to the validation criteria.

During the validation round III, IBTool implements the K-means clustering algorithm in real-time to organize the indicators into homogeneous groups. The clustering is performed based on the *crisp* values obtained from the DFM and involves the arrangement of indicators into three main clusters: (i) “indicators to be selected,” characterized by high Crisp scores; (ii) “selectable indicators” with intermediate scores; (iii) “indicators to be discarded,” which have lower scores.

The K-means ML algorithm, refined through the *Naive Sharding* initialization procedure operates by selecting “K” potential initial centroids, determined based on the number of predefined clusters (Mayo, 2016). The procedure enables the initial starting points to be in positions that respect the actual data trends in their ordering. Once the initial centroids are defined, each point in the dataset is assigned to the nearest center by calculating the Euclidean distance and assessing proximity to the initial centroids. After the assignment procedure is completed, each of the “K” centroids is repositioned through the average of the points it belongs to. After the repositioning of centroids, the algorithm revisits the entire dataset to reassign points to cluster centers, as some points may be closer to a different center. The reassignment and repositioning process continues iterating until the centroids stabilize, meaning the data assignments no longer show significant shifts. At that point, the algorithm is considered convergent, and the K identified groups are final.

In the validation round IV, the focus is on a direct, qualitative comparison phase, where a group of experts or the single DM deeply analyses the results derived from the previous phases. Therefore, the results obtained through quantitative and automated methods are reread and discussed with the participants, who have the opportunity to provide reasoned feedback and engage in discussions about the selection or exclusion of validated indicators.

The software interface in the section *Gestione Sessioni e Analisi dei dati* (figure 5) presents five data configurations that facilitate discussion. It allows indicators to be displayed in rankings following different logics, with the first three based on the frequency of responses to the questionnaires, where the indicators are evaluated with respect to computability, relevance, and problematic issues, and the last ranks the indicators in the three clusters resulting from the K-means, according to their degree of selection expressed through the composite relevance and computability index.

At the conclusion of the discussion, a final selection is made in which the group or the DM decides which indicators will be included in the evaluation system as KPIs. By default, IBTool proposes an initial selection that includes all the indicators from the first cluster, i.e., those rated as most relevant and computable. However, this selection is not binding as it is possible to modify, add, or remove indicators based on qualitative feedback and the specificities of the context. A limitation of IBTool requires the user to select a maximum of 10 KPIs to avoid inconsistencies in the subsequent weighting phase. The formalization of this selection must be documented in a report that clarifies the reasoning behind the decisions made, ensuring transparency and traceability of the entire validation process, which combines quantitative methods and moments of qualitative discussion.

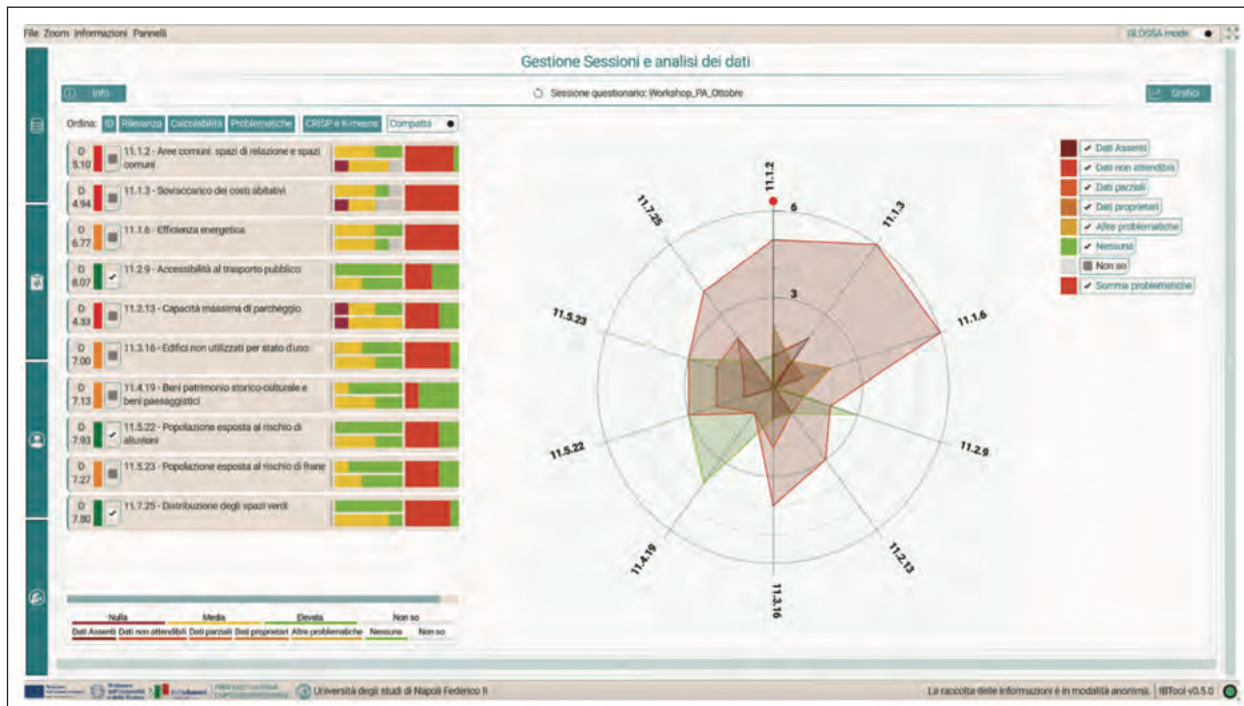


Figure 5. IBTool panel for sessions management and data analytics (software screenshot).

Finally, the validation round IV serves as a bridge between the large amount of aggregated data from the previous phases and the actual planning or policy-making needs, ensuring that the chosen indicators are not only statistically robust but also effectively address the needs and objectives of the context in which they will be applied.

### 5.3 Weighting (Step 6)

The BWM is an MCDA approach developed by Rezaei (2015) and used to determine the importance of different criteria in a decision-making problem, following four structured steps (Rezaei, 2015). The process begins with identifying the relevant criteria for the decision. Next, the DM selects the most important criterion (best) and the least important one (worst). At this point, a comparison is made to determine how much more important the best criterion is compared to all others (best to others), and then how much more important each criterion is compared to the worst (others to worst). These comparisons are used to create a set of mathematical equations, which are then solved to determine the optimal weights for each criterion, while ensuring consistency in the decision-making process. One of the main advantages of BWM is that it requires fewer comparisons than traditional methods, such as the Analytic Hierarchy Process (AHP), making it faster and simpler to use, even for non-experts.

The BWM has been integrated into IBTool through the interface panel called *Sessione Valutazione* as shown in Figure 6. This panel is divided into three parts: on the left, a description of the main objective and instructions about the method are provided to inform the user; the central window allows the Single-User to fill in the necessary fields to carry out the evaluation process with the BWM; while the third part of the panel, on the right, displays the results in terms of the consistency index and the weights obtained upon completing the phase of assigning semantic judgments from 1 to 9 according to the Saaty scale.

The BWM corresponds to phase 6 of the process implemented in the software and requires manual data input from the Single-Users, who must complete the BWM survey by providing their judgments in a focus group facilitated by experts. The maximum number of indicators that can be evaluated using the BWM has been set to 10, as cognitive effort increases with the number of items to evaluate, leading to more frequent inconsistencies and making the decision-making phase more complex (Saaty, 2001). The client then calculates the equations underlying the method and automatically returns the elicited weights of the indicators to the users.



Figure 6. IBTool panel for BWM (software screenshot).

In this phase, the role of the DSS is to support the DMs in defining the priorities of the KPIs, but also to guide the balancing of composite indices that are effectively tied to territorial contexts or priority evaluation objectives, which will be produced in the final stages of the decision-making process facilitated by IBTool.

#### 5.4 Performance/Impact assessment (Step 7 - 10)

Steps 7 and 8 allow users to evaluate the performance of decision alternatives (e.g., neighborhoods, projects, areas of interest, etc.) through a composite index characterized by the combination of the indicators selected, validated, and weighted in the previous phases. In particular, in step 7, the user is required to input the values of the KPIs, which have been preliminarily calculated, into a dedicated form within the panel called *Immissione valori alternativa* (Figure 7).

The aggregation of the weights with the indicator values occurs at the end of the input process using the TOPSIS method, which allows for the calculation of the performance index by comparing the alternatives of the decision problem. The performance histograms, derived from comparing the alternatives with respect to each indicator (on the left), and the composite indices of the alternatives (on the right), are displayed in the area beneath the interface.

In the second panel of step 7, called *Controllo valutazione*, it is also possible to set benchmark thresholds independent of the ideal negative and positive values determined by the TOPSIS method for each indicator (Figure 8). The flexibility in choosing thresholds that do not come from direct comparisons between the alternatives of the decision problem allows for balancing the indicator values by considering different geographic and socio-demographic contexts. This approach promotes fairness by accounting for territorial differences and underpins the scalability of the knowledge system designed by GLOSSA.

To conclude, the third panel – called *Panoramica delle performance alternative* – highlights the value of the composite performance indices for each alternative, allowing the user to redefine the direction of the indicators and view, in real time, the changes in the rankings of the alternatives and indicators through a bar chart (Figure 9).

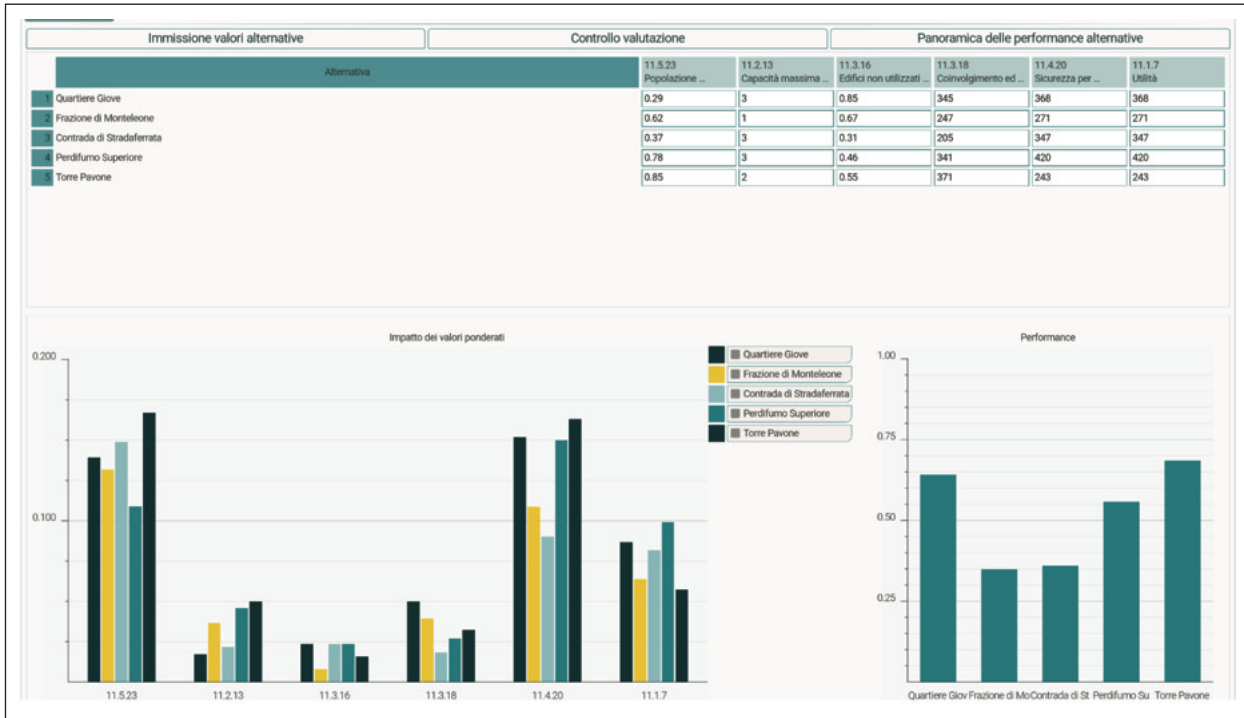


Figure 7. IBTool Pannello "Immissione valori alternative".



Figure 8. IBTool panel for evaluation control (software screenshot).

The role of the DSS in these two steps is twofold: on one hand, it guides the DMs in identifying areas of criticality and improvement in territories through the interpretation of composite indices value; on the other hand, it supports the generation of different sustainability scenarios based on variations in the benchmark thresholds set by the comparison of alternatives.



**Figure 9.** IBTool panel for sustainability performance checking through bar charts (software screenshot).

Steps 9 and 10, which are still under development, will allow for the evaluation of the impacts of urban-scale plans, programs, or projects with respect to the selected SDG11 indicators, using the weights obtained in step 6 through the BWM. These weights are intended as coefficients of relative importance and will serve to determine an ordering of the indicators. In this way, it will be possible to assess a percentage variation in the normalized indicator values determined by the impact of the planned project actions, in a scenario planning logic, or actual impacts for the evaluation of direct effects.

The final phases of IBTool play a supportive role, inherent in the possibility to store indicators values in different time-scenarios and to guide the redefinition of sustainability directions or confirm the effectiveness of the actions being evaluated in terms of alignment with the targets of Goal 11.

## 6. Conclusions and further development

IBTool is an experimental software developed within the GLOSSA project, designed to manage decision-making processes at the urban scale through the storage, selection, prioritization, and evaluation of SDG11 indicators. During its development phases, the software has been modified and implemented multiple times, incorporating contributions from the research team, academic experts, and public administration testers following the collaborative *AGILE* methodology, and is presented here in its *version 0.7.1*.

The experience gained so far with the development of the prototype and the initial results from the GLOSSA project have demonstrated how an integrated evaluation approach, which includes both qualitative-quantitative methods for indicator validation, MCDA, and open-source decision support tools, can guide urban sustainability decision-making processes in a more transparent and collaborative manner.

The transition from divergence to convergence is another potential feature of IBTool's

facilitative role. As perspectives are refined, options are reassessed and, in many cases, reimagined. The act of capturing and visually representing contributions acts as a catalyst for creativity, enabling the emergence of novel solutions (Jelassi and Beauclair 1987). In this way, IBTool is instrumental in fostering an environment where new ideas can evolve within the group's collective understanding.

In this perspective, IBTool promotes a key aspect of «soft» negotiation by encouraging participants to shift from a strictly personal perspective to one that incorporates elements of others' viewpoints. This dynamic interplay enhances the group's ability to achieve a more holistic and shared understanding of the issue at hand. The public display mechanism further supports this by dissociating contributions from their originators, ensuring that viewpoints are assessed on their intrinsic merit rather than on the status or influence of the contributor. Nevertheless, where appropriate, contributors can claim ownership of their ideas and actively advocate for their adoption.

While each of these elements—linked to anonymity and the transitional nature of the model—offers distinct benefits, they are also mutually reinforcing. For instance, the ability to work with transitional objects such as IBTool enhances procedural justice, and the structured yet flexible environment provided by the tool actively supports the generation of innovative options. In this way, IBTool does not merely assist in structuring group interactions but plays a transformative role in guiding groups towards more inclusive, creative, and equitable decision-making processes.

The main limitations of the proposed approach are both methodological and technical and will be partly overcome in future developments of the project, considering the time and resources available.

From a methodological perspective, indeed, the primary challenge lies in refining the validation procedures to make IBTool increasingly suitable for managing situations characterized by fragmented or hard-to-obtain information, typical of urban contexts (Poli et al., 2024). The operational limit of 10 KPIs manageable by the software in step 3 (weighting), currently addressed through organizing the decision-making process into different rounds of thematic evaluation, could be overcome by introducing new weighting, optimization, and informed guidance functionalities in the indicator selection processes.

Additionally, the generalization of the database architecture will form the foundation for extending the software's use beyond current experiments, making it more flexible and modular by allowing for the reorganization of categorized indicators in relation to other SDGs or operational indicators framework.

At the same time, the introduction of multi-user sessions will enable more dynamic management of prioritization processes, enhancing the ability to handle information collected from heterogeneous users (political decision-makers, stakeholders, technicians, researchers, investors, etc.) and aggregating results with hybrid multicriteria methods (Martínez López et al., 2023). In this perspective, a multi-stakeholder mode will also be implemented for the construction of input indicators, increasing their coherence with contextually defined urban sustainability objectives, allowing for more complex evaluation iterations where the definition of KPIs is crucial to participatory and shared decision-making.

Future technological developments will focus on introducing a complete *suite* of improvements designed to enhance functionality, accessibility, and security. Initially, a robust multilingual localization system will enable users to use the DSS in various geographic locations and for different types of decision problems, ensuring a more inclusive experience.

Additionally, an advanced authorization system will include intermediate roles between Super-User and Single-User, offering greater flexibility in managing access and responsibilities. Access to the validation survey results, for example, will allow users to easily find relevant information, promoting transparency and raising awareness of emerging issues. Simultaneously, automatic backups and advanced server management tools will be implemented to ensure data integrity and the overall performance of the system.

To improve result management, the automatic report generation feature will further simplify the validation and evaluation process by producing detailed documentation about the session

activities. Finally, the user interface will be optimized through the implementation of *UX* design, further simplifying navigation and making the software experience more intuitive and enjoyable.

In the future, the extension to application case studies, foreseen by the GLOSSA project yet to be tested, will offer additional opportunities to test and improve IBTool, bringing to light areas for advancement in both methodological robustness, with the implementation of other types of MCDA methods, and algorithmic enhancement by refining clustering procedures.

The ambition is to consolidate IBTool as a decision support tool capable of combining scientific robustness, operational versatility, and the ability to foster more inclusive governance processes, oriented towards achieving further sustainability targets set by urban agendas.

### **Acknowledgement**

This contribution has received funding by the Research Project of National Relevance (PRIN) GLOSSA - *GLOcal knowledge System for Sustainability Assessment of urban projects* (CUP E53D23010270006), coordinated by POLITO, Principal Investigator: Francesca Abastante; UNINA research unit leader: Giuliano Poli; UNICA research unit leader: Francesco Piras. The authors want to thank all the team members of GLOSSA project which helped to develop the software and provide insights to consolidate the methodological choices.

### **Author contributions**

G.P.: Writing – review & editing, Writing – original draft, Validation, Methodology, Conceptualization, Data curation, Visualization; in particular, G.P. has primary focused and written in cooperation with co-authors the following article Sections: 1, 2, 4, 5, 5.3, 5.4, and 6. **S.C.:** Writing – review & editing, Writing – original draft, Data curation, Methodology, Visualization; in particular, S.C. has primary focused and written in cooperation with co-authors the following article Sections: 3, 4, 5.1, 5.2, and 6. **D.D.:** Writing – review & editing, Formal Analysis, Software Development; in particular, D.D. has primary focused and written in cooperation with co-authors the following article Sections: 4.1, and 6.

### **Bibliography**

- Abastante F. (2023). Limits and perspectives of Neighbourhood Sustainable Assessment Tools (NSATS) in sustainable urban design. *Valori e Valutazioni*, 32, 31–43. <https://doi.org/10.48264/vvsiev-20233204>
- Ackermann F, Eden C (2021) Group Support Systems: Concepts to Practice. In: Kilgour, D.M., Eden, C. (eds) *Handbook of Group Decision and Negotiation*. Springer, Cham. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-49629-6\\_59](https://doi.org/10.1007/978-3-030-49629-6_59)
- Bachmann N., Tripathi S., Brunner M. & Jodlbauer H. (2022). The contribution of data-driven technologies in achieving the sustainable development goals. *Sustainability*, 14(5), 2497. <https://doi.org/10.3390/su14052497>
- Behzadian M., Khanmohammadi Otaghsara S., Yazdani M. & Ignatius J. (2012). A state-of-the-art survey of TOPSIS applications. *Expert Systems with Applications*, 39(17), 13051–13069. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2012.05.056>
- Bottero M., Caprioli C., Cotella G. & Santangelo M. (2019). Sustainable Cities: A Reflection on Potentialities and Limits based on Existing Eco-Districts in Europe. *Sustainability*, 11(20), 5794. <https://doi.org/10.3390/su11205794>
- Bullock J.B. (2019). Artificial intelligence, discretion, and bureaucracy. *The American Review of Public Administration*, 49(7), 751–761. <https://doi.org/10.1177/0275074019856123>
- Busch P.A. & Henriksen H.Z. (2018). Digital discretion: A systematic literature review of ICT and street-level discretion. *Information Polity*, 23(1), 3–28. <https://doi.org/10.3233/ip-170050>
- Camagni R., Capello R. & Nijkamp P. (1998). Towards sustainable city policy: An economy-environment technology nexus. *Ecological Economics*, 24(1), 103–118. <https://doi.org/>

- 10.1016/s0921-8009(97)00032-3
- Carter L., Yoon V. & Liu D. (2022). Analyzing e-government design science artifacts: A systematic literature review. *International Journal of Information Management*, 62, 102430. <https://doi.org/10.1016/j.ijinfomgt.2021.102430>
- Cerreta M., De Toro P. & Fusco G.L. (2014). Integrated assessment for sustainable choices. *SCIENZE REGIONALI*, 1, 111–141. <https://doi.org/10.3280/scre2014-s01006>
- Charitonidou M. (2022). Urban scale digital twins in data-driven society: Challenging digital universalism in urban planning decision-making. *International Journal of Architectural Computing*, 20(2), 238–253. <https://doi.org/10.1177/14780771211070005>
- Cinelli M., Kadziński M., Gonzalez M. & Słowiński R. (2020). How to support the application of multiple criteria decision analysis? Let us start with a comprehensive taxonomy. *Omega*, 96, 102261. <https://doi.org/10.1016/j.omega.2020.102261>
- Dawodu A., Cheshmehzangi A., Sharifi A. & Oladejo J. (2022). Neighborhood sustainability assessment tools: Research trends and forecast for the built environment. *Sustainable Futures*, 4, 100064. <https://doi.org/10.1016/j.sftr.2022.100064>
- Dizdaroglu D. (2017). The Role of Indicator-Based Sustainability Assessment in Policy and the Decision-Making Process: A Review and Outlook. *Sustainability*, 9, 1018. <https://doi.org/10.3390/su9061018>
- Dörfler V. (2021) Looking Back on a Framework for Thinking About Group Support Systems. In: Kilgour D.M., Eden C. (eds) *Handbook of Group Decision and Negotiation*. Springer, Cham. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-49629-6\\_32](https://doi.org/10.1007/978-3-030-49629-6_32)
- Employment European Committee of the Regions: Commission for Social Policy, Cavallini S., Soldi R., Friedl J. & Volpe M. (2016). Using the quadruple helix approach to accelerate the transfer of research and innovation results to regional growth. European Committee of the Regions.
- Fusco Girard L., Cerreta M. & De Toro P. (2014). Integrated assessment for sustainable choices. *Scienze regionali: Italian Journal of regional Science: 13, supplemento 1, 2014*, 111-141.
- Greco S., Mousseau V., Stefanowski J. & Zopounidis C. (2022). Roman słowiński and his research program: Intelligent decision support systems between operations research and artificial intelligence. In *Multiple Criteria Decision Making* (pp. 1–27). Springer International Publishing. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-96318-7\\_1](https://doi.org/10.1007/978-3-030-96318-7_1)
- Henriksen H.Z. (2017). One step forward and two steps back: E-government policies in practice. In *Public Administration and Information Technology* (pp. 79–97). Springer International Publishing. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-61762-6\\_4](https://doi.org/10.1007/978-3-319-61762-6_4)
- Hwang C.-L. & Yoon K. (1981). Methods for multiple attribute decision making. In *Lecture Notes in Economics and Mathematical Systems* (pp. 58–191). Springer Berlin Heidelberg. [https://doi.org/10.1007/978-3-642-48318-9\\_3](https://doi.org/10.1007/978-3-642-48318-9_3)
- Keenan P.B. & Jankowski P. (2019). Spatial Decision Support Systems: Three decades on. *Decision Support Systems*, 116, 64–76. <https://doi.org/10.1016/j.dss.2018.10.010>
- Kitchin R., Lauriault T.P. & McArdle G. (2015). Knowing and governing cities through urban indicators, city benchmarking and real-time dashboards. *Regional Studies, Regional Science*, 2(1), 6–28. <https://doi.org/10.1080/21681376.2014.983149>
- Kuo Y.-F. & Chen P.-C. (2008). Constructing performance appraisal indicators for mobility of the service industries using Fuzzy Delphi Method. *Expert Systems with Applications*, 35(4), 1930–1939. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2007.08.068>
- Lami I.M., Abastante F., Gaballo M., Mecca B. & Todella E. (2023). Fostering sustainable cities through additional SDG11-related indicators. *Valori e Valutazioni*, 32, 45–61. <https://doi.org/10.48264/vvsiev-20233205>
- Lami I.M., Abastante F., Mecca B., Todella E. (2024). Maps and SDG11: A complex but possible relationship. *International Journal of Sustainable Development and Planning*, Vol. 19, No. 4, pp. 1217–1237. <https://doi.org/10.18280/ijstdp.190401>
- Mariénfeldt J. (2024). Does digital government hollow out the essence of street-level bureaucracy? A systematic literature review of how digital tools' foster curtailment, enablement and continuation of street-level decision-making. *Social Policy & Administration*, 58(5), 831–

855. <https://doi.org/10.1111/spol.12991>
- Martínez López L., Ishizaka A., Qin J. & Álvarez Carrillo P.A. (2023). Multiple-Criteria Decision-Making sorting method. In *Multi-Criteria Decision-Making Sorting Methods* (pp. 13–49). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/b978-0-32-385231-9.00007-9>
- Mayo M.M. (2016). An Arithmetic-Based Deterministic Centroid Initialization Method for the kMeans Clustering Algorithm. [https://csuepress.columbusstate.edu/theses\\_dissertations/241](https://csuepress.columbusstate.edu/theses_dissertations/241)
- Mecca B., Gaballo M., Todella E. (2023) Measuring and evaluating urban sustainability. *Valori e Valutazioni* 32, pp. 17–29. [https://siev.org/wp-content/uploads/2023/05/03\\_MECCA-ET-AL.pdf](https://siev.org/wp-content/uploads/2023/05/03_MECCA-ET-AL.pdf)
- Meijer A. & Bolívar M.P.R. (2015). Governing the smart city: A review of the literature on smart urban governance. *International Review of Administrative Sciences*, 82(2), 392–408. <https://doi.org/10.1177/0020852314564308>
- Mirani A. (2023). Evaluation of neighbourhood sustainability assessment tools for practicing on an existing neighbourhood in Great Paris. *Building Simulation Conference Proceedings*, 18. <https://doi.org/10.26868/25222708.2023.1572>
- Misra S., Kumar V., Kumar U., Fantasy K. & Akhter M. (2012). Agile software development practices: Evolution, principles, and criticisms. *International Journal of Quality & Reliability Management*, 29(9), 972–980. <https://doi.org/10.1108/02656711211272863>
- Murray T.J., Pipino L.L. & van Gigch J.P. (1985). A pilot study of fuzzy set modification of Delphi\*. *Human Systems Management*, 5(1), 76–80. <https://doi.org/10.3233/hsm-1985-5111>
- Orlikowski W.J. & Iacono C.S. (2001). Research commentary: Desperately seeking the “IT” in IT research—a call to theorizing the IT artifact. *Information Systems Research*, 12(2), 121–134. <https://doi.org/10.1287/isre.12.2.121.9700>
- Padilla-Rivera A., do Carmo B.B.T., Arcese G. & Merveille N. (2021). Social circular economy indicators: Selection through fuzzy delphi method. *Sustainable Production and Consumption*, 26, 101–110. <https://doi.org/10.1016/j.spc.2020.09.015>
- Panosso A. da S., Miron L.I.G., Delsante I. & Tzortzopoulos P. (2023, November 17). Balancing participatory approaches in neighbourhood sustainability assessment. *Simpósio nacional de gestão e engenharia urbana*. <https://doi.org/10.46421/singeurb.v4i00.3608>
- Phillis Y.A., Kouikoglou V.S. & Verdugo C. (2017). Urban sustainability assessment and ranking of cities. *Computers, Environment and Urban Systems*, 64, 254–265. <https://doi.org/10.1016/j.compenvurbsys.2017.03.002>
- Poli G., Cuntò S. & Muccio E. (2024). A data-driven approach to monitor sustainable development transition in Italian regions through SDG 11 indicators. In *Lecture Notes in Computer Science* (pp. 337–355). Springer Nature Switzerland. [https://doi.org/10.1007/978-3-031-65285-1\\_22](https://doi.org/10.1007/978-3-031-65285-1_22)
- Poveda C.A., Lipsett M.G., A Review of Sustainability Assessment and Sustainability/Environmental Rating Systems and Credit Weighting Tools, *Journal of Sustainable Development*, Vol. 4, No. 6, 2011, pp. 36–55. <https://doi.org/10.5539/jsd.v4n6p36>
- Pulgar Rubilar P., Jordán Vidal M.M., Blanco Fernández D., Osorio Ramirez M., Perillán Torres L., Lizana Vial M., Lobos Calquin D., Pardo Fabregat F. & Navarro Pedreño J. (2023). Neighbourhood sustainability assessment tools for sustainable cities and communities, a literature review—new trends for new requirements. *Buildings*, 13(11), 2782. <https://doi.org/10.3390/buildings13112782>
- Rezaei J. (2015). Best-worst multi-criteria decision-making method. *Omega*, 53, 49–57. <https://doi.org/10.1016/j.omega.2014.11.009>
- Roman M. & Fellnhöfer K. (2022). Facilitating the participation of civil society in regional planning: Implementing quadruple helix model in Finnish regions. *Land Use Policy*, 112, 105864. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2021.105864>
- Saaty T.L. (2001). Fundamentals of the analytic hierarchy process. In *Managing Forest Ecosystems* (pp. 15–35). Springer Netherlands. [https://doi.org/10.1007/978-94-015-9799-9\\_2](https://doi.org/10.1007/978-94-015-9799-9_2)
- Simon H.A. (2012). The new science of management decision: The ford distinguished lectures, V3.
- Stehle S. & Kitchin R. (2019). Real-time and archival data visualisation techniques in city dashboards. *International Journal of Geographical Information Science*, 34(2), 344–366. <https://doi.org/10.1080/13658816.2019.1594823>
- Victor P., Hanna S. & Kubursi A. (1998). How Strong is Weak Sustainability? In *Economy &*

Environment (pp. 195–210). Springer Netherlands. [https://doi.org/10.1007/978-94-017-3188-1\\_12](https://doi.org/10.1007/978-94-017-3188-1_12)  
Zamanidou A., Magliozzi A. & Fokaides P. (2024). From buildings to neighborhoods: Upscaling smartness assessment for enhanced sustainability. 2024 9th International Conference on Smart and Sustainable Technologies (SpliTech), 1–5. <https://doi.org/10.23919/splitech61897.2024.10612353>



# Un nuovo sistema di supporto alla decisione per valutare i livelli di sostenibilità delle città: il software IBTool

Giuliano Poli<sup>1,\*</sup>, Stefano Cuntò<sup>1</sup>, Dario De Vita<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Dipartimento di Architettura, Università degli Studi di Napoli Federico II, Via Toledo 402, 80134 Napoli, Italia; giuliano.poli@unina.it; stefano.cunto@unina.it

<sup>2</sup> Consulente IT del Progetto di Ricerca di Rilevanza Nazionale (PRIN) GLOSSA presso il Dipartimento di Architettura, Università degli Studi di Napoli Federico II, Via Toledo 402, 80134 Napoli, Italia; devitadario@gmail.com

\* autore corrispondente

## Parole chiave

*Neighborhood Sustainability Assessment Tools (N-Sat), digital tools, Decision Support Systems (DSS), SDG 11 Key Performance Indicators (KPI), MCDA*

## Abstract

I *Digital Tools* per la sostenibilità urbana e i *Neighbourhood Sustainability Assessment Tools* (NSATs), indirizzati a certificare e promuovere interventi di sviluppo sostenibile a scala di quartiere e di edificio, stanno acquisendo un peso crescente nel supporto e nella facilitazione dei processi di monitoraggio e trasformazione delle città. Tali strumenti possono, infatti, generare impatti abilitanti sulla street-level bureaucracy e, in particolare, sulla capacità delle Pubbliche Amministrazioni (PA) di perseguire obiettivi di sostenibilità a livello locale che siano coerenti con gli indirizzi dell'Agenda 2030. Tuttavia, la frammentazione, la scarsa reperibilità e la difficile calcolabilità dei dati a scala urbana spesso ostacolano la definizione e il monitoraggio degli indicatori. In tali contesti diventa fondamentale, quindi, l'individuazione di Key Performance Indicators (KPI) coerenti con le specificità territoriali e capaci di misurare in modo efficace le performance di sostenibilità. In risposta a tale necessità, il Progetto di Rilevanza Nazionale (PRIN) GLOSSA ha sviluppato un software open source definito IBTool, che si configura come un Decision Support System (DSS) basato sugli indicatori del Goal 11 degli SDGs per supportare le PA in processi collaborativi di validazione, selezione e ponderazione dei KPI, integrando algoritmi di clustering e Multi-Criteria Decision Analysis (MCDA) per la valutazione delle performance di sostenibilità di quartieri ed edifici e degli impatti dei progetti a scale differenti. L'obiettivo del contributo è presentare l'architettura e le fasi di sviluppo di IBTool, concepito per coniugare rigore scientifico, versatilità operativa e approcci multilivello coerenti con le linee guida dell'Agenda 2030.

## 1. Introduzione

Gli strumenti digitali indirizzati a valutare le performance di sostenibilità a scala urbana possono esercitare impatti rilevanti sulle Pubbliche Amministrazioni (PA) in termini di riorganizzazione del lavoro, riduzione del grado di discrezionalità delle decisioni a differenti livelli, e supporto nelle scelte operative legate al raggiungimento dei target di sostenibilità alla base delle agende urbane delle città (Phillis et al., 2017).

Il bilanciamento dei capitali ecologici, sociali, ed economici come paradigma delle città sostenibili, in una logica di sostenibilità forte (Victor et al., 1998; Cerreta et al., 2014), è ostacolato non solo dalla scarsa distribuzione delle risorse economiche, ma soprattutto dai gap di gestione che possono generare diversi tipi di esternalità negative (Camagni et al., 1998). Ne consegue la necessità di identificare gli obiettivi prioritari attraverso processi inclusivi e strutturati di validazione dei relativi indicatori di monitoraggio delle performance e di impatto delle trasformazioni urbane. Ciò richiede approcci metodologici che garantiscano il coinvolgimento attivo di diversi stakeholder e l'affidabilità delle variabili utilizzate per valutare le dinamiche di sviluppo urbano (Poveda & Lipsett, 2011). Per definire le priorità in modo efficace, è essenziale analizzare il contesto specifico, i bisogni locali e gli indicatori *place-based* in grado di cogliere la complessità degli ambienti urbani (Fusco Girard et al., 2014). Questo processo si basa su dati empirici, pianificazione di scenari e dialogo fra attori pubblici-privati, comunità locali, specialisti e istituzioni accademiche (Mecca et al., 2023). Un approccio inclusivo garantisce che le decisioni riflettano una visione condivisa, integrando prospettive diverse e rispondendo a una vasta gamma di esigenze. Inoltre, la validazione degli indicatori di performance e impatto riveste un ruolo cruciale nel misurare l'efficacia delle trasformazioni urbane e delle politiche (Dizdaoglu, 2017). Ciò richiede un processo strutturato basato sulla selezione degli indicatori e sul confronto dei dati empirici, assicurando che i KPI siano pertinenti, misurabili e in grado di cogliere gli effetti reali delle politiche urbane in termini di accessibilità, inclusione sociale ed efficienza economica, in linea con quanto raccomandato dagli SDGs.

L'impatto dell'innovazione digitale nei processi di transizione urbana che coinvolgono le PA è da tempo oggetto di dibattito in diversi paesi del mondo (Carter et al., 2022). Tali impatti vengono concepiti come le modalità attraverso cui gli strumenti tecnologici vengono impiegati e la riorganizzazione del lavoro avviene a livello tattico e operativo (Orlikowski & Iacono, 2001).

Osservando una carenza di ricerca empirica sui diversi tipi di tecnologie e sulle modalità attraverso cui le transizioni digitali influenzano il lavoro delle PA, Marienfeldt et al. (2024) hanno evidenziato come tale campo di indagine richieda di essere attentamente esplorato con particolare riferimento agli impatti che le transizioni tecnologiche esercitano sulla *street level bureaucracy*. Le tre tesi prevalenti individuate nell'ambito dell'utilizzo degli strumenti digitali sono, infatti: la tesi riduzionistica (i), abilitante (ii) e continuativa (iii). La prima (i) mette in guardia dai rischi di un controllo tecnologico che ridurrebbe le prerogative della *street level bureaucracy*. La tesi abilitante (ii) prospetta un potenziamento professionale, grazie a un accesso più ampio alle informazioni e a un alleggerimento dai compiti ridondanti e ripetitivi. La terza tesi (iii) sottolinea, invece, come la *street level bureaucracy* possa resistere o aggirare le regole per salvaguardare la propria discrezionalità, mettendo in luce le strategie di *coping* adottate nell'era digitale (Marienfeldt et al., 2024).

Nel contesto delle PA, gli strumenti digitali possono essere categorizzati in base alla loro funzione nel processo decisionale, distinguendoli in: strumenti di supporto, di orientamento, o decisivi. Le tecnologie tradizionali, come archivi digitali e database, svolgono un ruolo di supporto (Henriksen, 2017), agevolando la documentazione rapida e l'accesso strutturato alle informazioni. Gli strumenti digitali di valutazione, come i *Decision Support Systems* (DSS) (Simon, 2012; Keenan & Jankowski, 2019), i *Group Support Systems* (GSS) (Ackermann & Eden, 2021), i *Neighbourhood Sustainability Assessment Tools* (NSATs) (Pulgar Rubilar et al., 2023; Dawodu et al., 2022) o le *Multi-Criteria Decision Analysis* (MCDA) (Cinelli et al., 2020), hanno una funzione di orientamento, offrendo dati e procedure operative utili a prendere decisioni consapevoli e informate (Busch & Henriksen, 2018). Infine, l'automazione, gli algoritmi, e l'intelligenza artificiale favoriscono l'adozione di *Intelligent Decision Support Systems* (I-DSS) (Greco et al., 2022), assumendo un ruolo decisivo (Bullock, 2019).

L'avanzamento tecnologico nei meccanismi di condivisione della conoscenza ed elaborazione dei dati disponibili per le PA si evince particolarmente nel GOAL 17 (SDG17), in cui si auspica un più accurato monitoraggio dei target per orientare in modo efficace le trasformazioni urbane sostenibili in una logica di partnership dal locale al globale (Bachmann et al., 2022). In questa prospettiva, sistemi di valutazione e supporto alle decisioni complementari alle metriche esclusivamente economiche, costruiti su solide basi statistiche e matematiche, consentono di identificare le aree di intervento più urgenti e di valutare l'impatto delle politiche adottate dalla scala regionale al distretto. Gli strumenti digitali, integrati nei processi decisionali, offrono, inoltre, la possibilità di elaborare e visuali-

lizzare dati in tempo reale, simulare scenari alternativi, e promuovere decisioni basate su evidenze, rendendo le città protagoniste di un cambiamento trasformativo (Kitchin et al., 2015).

Il presente contributo si inquadra nell'ambito del Progetto di Rilevante Interesse Nazionale (PRIN) GLOSSA - *GLocal knowledge-System for Sustainability Assessment of urban projects*, finanziato nel 2022 dal Ministero della Pubblica Istruzione italiano e coordinato dal Politecnico di Torino (POLITO) in collaborazione con l'Università di Napoli Federico II (UNINA) e l'Università di Cagliari (UNICA). L'obiettivo fondamentale di GLOSSA è definire un sistema di conoscenza che supporti le PA nei processi decisionali mirati al monitoraggio dei territori e alla scelta di progetti di trasformazione urbana sostenibile, con l'utilizzo di metodologie di valutazione, consolidate o innovative, basate sugli indicatori del Goal 11 (SDG11).

Il Goal 11 dell'Agenda 2030 costituisce, infatti, uno dei campi d'azione privilegiati per rendere più performanti, trasparenti e condivisibili i processi di pianificazione e gestione delle città, attraverso il monitoraggio dei target di sostenibilità e la valutazione degli impatti nelle scelte di trasformazione urbana (Lami et al., 2024).

Trend emergenti nella ricerca sui NSATs, indirizzati a valutare la sostenibilità urbana attraverso gli indicatori del SDG11, rivelano significativi avanzamenti che rimarcano la necessità di esplorare la sostenibilità non solo al livello di edificio ma di effettuare uno *scaling-up* per cogliere al meglio la complessità dell'ambiente urbano nella relazione fra singola unità edilizia e quartiere (Bottero et al., 2019; Abastante, 2023). In particolare, Zamanidou et al. (2024) rilevano che il 44% dei framework di sostenibilità revisionati ritiene prioritaria un'implementazione tecnologica e l'ingaggio di stakeholders per sostanziare le valutazioni, mentre il 17% si concentra sulle interdipendenze delle infrastrutture urbane (Zamanidou et al., 2024). Mirani (2023), invece, sottolinea l'importanza di utilizzare indicatori contestualizzati che accrescono la rilevanza e l'applicabilità dei NSATs in diversi contesti urbani (Mirani, 2023). Infine, l'adozione combinata di approcci metodologici *top-down* e *bottom-up* promuove le expertise locali ed il coinvolgimento delle PA nei processi valutativi, assicurando l'inclusione dei bisogni delle comunità locali e la considerazione delle loro condizioni (Panosso et al., 2023).

La summenzionata tripartizione degli strumenti digitali come proposta da Marienfeldt et al. (2024) ha costituito uno dei presupposti per lo sviluppo di un DSS, concepito come un *toolbox open-source* integrato e destinato alle PA, per la valutazione dei livelli di sostenibilità basati sui target del SDG11 e la scelta di alternative di trasformazione preferibili in termini di performance di sostenibilità.

Il *software* è stato sviluppato dal team di ricerca del progetto GLOSSA ed è denominato *Indicators-Based Tool* (IBTool). Si inserisce in questo contesto come uno strumento pensato per supportare e guidare le diverse fasi che caratterizzano un processo decisionale, garantendo un accesso strutturato alle informazioni e favorendo un uso efficace degli indicatori di sostenibilità. Il sistema non si configura come decisivo, nel senso che non ha l'obiettivo di sostituirsi al Decision Maker (DM) nelle scelte ma piuttosto di raggiungere consenso nell'ambito di un gruppo di lavoro e di fornire linee guida che orientino le scelte di progetti a scala urbana e di edificio in una prospettiva di sostenibilità integrata.

IBTool non solo integra la funzionalità tipica dei NSAT, ma è stato anche concepito come un *Group Support System* (GSS) in contesti collaborativi, poiché il modello visualizzato pubblicamente svolge il ruolo di "oggetto transizionale" (Ackermann & Eden, 2021). Questo concetto risulta particolarmente pertinente all'intero processo di sviluppo del software, che funziona come un intermediario dinamico, favorendo la transizione fluida tra prospettive individuali e collettive. L'evoluzione continua del modello riflette i cambiamenti di visione del gruppo, promuovendo l'integrazione armoniosa di diversi contributi senza esercitare indebite pressioni sui singoli partecipanti.

In effetti, una tipica sessione supportata da IBTool inizia con la raccolta sistematica dei contributi individuali, che vengono poi proiettati su uno schermo condiviso. Questo processo porta naturalmente a modifiche — correzioni, aggiunte e cancellazioni — che trasformano gradualmente l'insieme iniziale, frammentato, in una rappresentazione coerente del consenso emergente del gruppo. È fondamentale sottolineare che tale processo di raffinamento iterativo rispetta la natura organica dello sviluppo delle idee, consentendo alle diverse prospettive di evolversi in modo naturale piuttosto che venire forzatamente uniformate sin dall'inizio.

La Sezione 2 mette in evidenza due domande di ricerca e gli obiettivi principali di questo contributo, che mira a illustrare il sistema di conoscenza GLOSSA attraverso la spiegazione dei passaggi fondamentali alla base dello sviluppo del software IBTool.

## 2. Obiettivi e domande di ricerca

Nell'ambito del suddetto quadro di ricerca, è stato sviluppato un prototipo di strumento di supporto alle decisioni in grado di integrare i NSAT sia a scala di quartiere sia a scala di edificio nei processi decisionali multicriteriali, fornendo supporto alle PA nelle principali fasi di valutazione dei progetti e nel monitoraggio dei territori.

Il progetto di ricerca GLOSSA prevede test sperimentali in tre aree geografiche, corrispondenti alle unità di ricerca coinvolte. Il primo test mira a valutare il livello di sostenibilità raggiunto in tre quartieri della città di Cagliari, selezionati in base alle loro specifiche caratteristiche socio-economiche e demografiche, tramite la costruzione di indici compositi di sostenibilità. Il secondo test, invece, si concentra sul confronto di progetti di trasformazione urbana nella città metropolitana di Torino, basato sulle prestazioni di sostenibilità legate all'SDG11. Infine, il terzo test applica IBTool a diversi progetti urbani e interventi di pianificazione attualmente in corso nel territorio di Bacoli, in provincia di Napoli, per valutare l'efficacia del software quale strumento di misurazione degli impatti diretti, in collaborazione con le amministrazioni locali.

Due principali domande di ricerca hanno fornito gli input in cui sono confluite alcune scelte metodologiche alla base dello sviluppo di IBTool nell'ambito del progetto GLOSSA:

- Quali forme di facilitazione i DSS possono fornire alle PA per il monitoraggio dello sviluppo sostenibile e la scelta degli indirizzi trasformativi dei territori?
- In che modo i DSS riescono a tenere in conto l'incertezza derivante da conflitti di valore, divergenze di opinione, gap informativi e limiti operativi degli indicatori di sostenibilità?

In risposta alle domande di ricerca, il sistema di conoscenza GLOSSA è stato quindi immaginato come uno strumento di supporto alle decisioni destinato alle PA, ai ricercatori e ai professionisti che utilizzano indicatori come per la misurazione della sostenibilità nei loro progetti. In risposta alla prima domanda di ricerca, nella Sezione 3 è stata presentata una breve panoramica degli strumenti di valutazione della sostenibilità, mentre le Sezioni 4 e 5 hanno affrontato la seconda domanda, illustrando il flusso metodologico e gli step operativi del software IBTool.

## 3. Progetti di ricerca, piattaforme, e strumenti per la valutazione della sostenibilità urbana

In modo funzionale allo sviluppo del software, è stata condotta un'indagine su piattaforme esistenti, progetti di ricerca e strumenti basati su indicatori con un approccio a palla di neve (*snowballing technique*). L'obiettivo è stato quello di approfondire le conoscenze attuali su soluzioni simili per migliorare le prestazioni di IBTool, evidenziando il contributo innovativo utile a superare le limitazioni o a potenziare le capacità associate ad applicazioni e metodi precedenti. L'indagine è stata strutturata considerando contributi scientifici tratti da letteratura recente, progetti di ricerca, strumenti online che utilizzano indicatori per risolvere problemi differenti, database strutturati e recenti avanzamenti tecnologici (ad esempio, *digital twins*).

La Tabella 1 riporta 7 casi selezionati che hanno fornito una base per sviluppare idee preliminari e affrontare le questioni relative allo sviluppo del software.

In un panorama caratterizzato dalla crescente richiesta di strumenti decisionali affidabili e basati su dati, è emersa una varietà di progetti di ricerca, piattaforme e soluzioni digitali che utilizzano gli indicatori per affrontare problematiche complesse in ambito urbano e territoriale. L'indagine condotta ha permesso di esplorare una serie di risorse che, pur operando in contesti differenti, condividono l'obiettivo comune di supportare i decisori nel monitoraggio, nell'analisi e nella pianificazione di interventi volti a migliorare la sostenibilità e la qualità della vita nelle città.

**Tabella 1.** Survey dei progetti di ricerca consistenti con IBTool

Progetto	Obiettivo	Caratteristiche principali	Punti salienti	Link	Anno
<b>1. ECIU SMART-ER</b>	Ecosistema di ricerca e innovazione focalizzato sulle sfide urbane sugli SDGs	Approccio basato sulle sfide (1); uso di indicatori per le città e le regioni intelligenti (2); integrazione di gemelli digitali e big data (3); progetti collaborativi e living lab (4).	Metodologie partecipative per la definizione e validazione degli indicatori (1); integrazione di dati in tempo reale e analisi predittiva (2); pianificazione di scenari e valutazione multi-stakeholder (3).	<a href="https://www.eciu.eu/smart-er-for-researchers">https://www.eciu.eu/smart-er-for-researchers</a>	2021
<b>2. UrbanLab Torino - Geografie Metropolitane</b>	Piattaforma cartografica e informativa di Torino	Mappe e cruscotti tematici (1); confronto tra quartieri e aree urbane (2); aggiornamento delle fonti di dati istituzionali e ricerca sul campo (3).	Rappresentazione georeferenziata dei KPI (1); dashboard e mappe interattive per comunicare il valore degli indicatori (2).	<a href="https://urbanlabtorino.it/mappe/geografie-metropolitane/">https://urbanlabtorino.it/mappe/geografie-metropolitane/</a>	2020
<b>3. Geodesignhub</b>	Piattaforma collaborativa per il geodesign e la pianificazione multi-scenario	Strumenti di analisi spaziale integrati con approcci partecipativi (1); sessioni di progettazione collettiva e co-creazione di scenari (2); dati GIS e indicatori tematici (3).	Approccio collaborativo per la definizione di scenari (1); metodi iterativi per la selezione e valutazione degli indicatori (2).	<a href="https://www.geodesignhub.com/">https://www.geodesignhub.com/</a>	2017
<b>4. GRINS - Piattaforma Amelia</b>	Piattaforma digitale per la gestione e l'analisi dei dati urbani e territoriali	Ambiente integrato per la simulazione di scenari (1); raccolta di fonti di dati istituzionali e aperti (2); sviluppo e monitoraggio di progetti di ricerca urbana (3).	Metodologie per la validazione dei KPI (1); utilizzo di protocolli standard per la raccolta dei dati (2).	<a href="https://grins.it/progetto/piattaforma-amelia">https://grins.it/progetto/piattaforma-amelia</a>	2022
<b>5. Argaleo</b>	Piattaforma di analisi dei dati per settori quali la mobilità, l'energia, la sicurezza urbana e la pianificazione strategica.	Analisi dei big data e visualizzazioni interattive (1); cruscotti personalizzati per PA e aziende (2); raccolta dati in tempo reale da sensori e open data (3).	Interfaccia avanzata con mappe, grafici e filtri per gli indicatori (1); moduli MCDA integrati; approccio ai dati in tempo reale e basato su scenari per implementare il processo decisionale a scala urbana (2).	<a href="https://www.argaleo.com/en/">https://www.argaleo.com/en/</a>	2020
<b>6. NLAIC</b>	Rete dedicata all'intelligenza artificiale con progetti in vari settori (sanità, energia, mobilità)	Algoritmi di ML e analisi avanzata (1); integrazione del set di indicatori per la valutazione predittiva (2); strumenti dedicati per il supporto alle decisioni (3).	Moduli AI/ML, gestione dell'incertezza e analisi predittiva (1); calcolo di KPI per la valutazione a medio-lungo termine (2).	<a href="https://nlaic.com/en/">https://nlaic.com/en/</a>	2024
<b>7. CORDIS - Smart Resilience Indicators for Smart Critical Infrastructures</b>	Progetto finanziato dall'UE incentrato sulla sicurezza urbana e sull'innovazione	Uso di indicatori per monitorare i risultati dei progetti (1); gestione dei rischi e sicurezza delle infrastrutture (2).	Protocolli di standardizzazione e validazione degli indicatori (1); integrazione della valutazione del rischio e del coinvolgimento delle parti interessate (2).	<a href="https://cordis.europa.eu/project/id/700621">https://cordis.europa.eu/project/id/700621</a>	2016

Dal programma ECIU SMART-ER, incentrato sulle sfide locali e regionali, emergono due tratti chiave che hanno indirizzato lo sviluppo dell'IBTool: l'approccio sfidante, in cui i progetti di ricerca sono co-creati insieme ai portatori di interesse, e l'impiego di soluzioni tecnologiche avanzate, come le *digital twins*, in grado di simulare scenari futuri e di integrare dati in tempo reale. Questi elementi evidenziano la necessità di sviluppare piattaforme agili e capaci di incorporare grandi quantità di informazioni eterogenee e di presentarle in modo chiaro a diverse tipologie di utenti (tecnici, amministratori, cittadini).

La mappatura tematica proposta da *UrbanLab* e dal Politecnico di Torino sottolinea, invece, l'importanza della rappresentazione cartografica e dell'analisi spaziale, in cui le informazioni sul territorio vengono aggregate e restituite mediante interfacce intuitive basate su metodi open source che ne garantiscono la replicabilità (Lami et al., 2024).

Un'attenzione alle dinamiche collaborative e interattive si riscontra in *Geodesignhub*, che integra strumenti di *design* a metodologie partecipative, evidenziando ancora una volta quanto sia cruciale il coinvolgimento degli stakeholder per garantire processi condivisi di selezione e validazione di indicatori, che siano aderenti al contesto locale. Nonostante IBTool non sia stato concepito in una logica spaziale, le caratteristiche principali desunte da questi due progetti sono legate alla logica collaborativa utile ad ottenere in tempo reale gli impatti di progetti di meta-planning e l'idea di visualizzare dashboard e archivi strutturati di indicatori territoriali open source, non solo per comprendere i principali fenomeni in atto sui territori oggetto di monitoraggio ma anche per incrementare la coesione territoriale (Stehle e Kitchin, 2019).

Le piattaforme *Amelia* e *Argaleo* rappresentano, invece, soluzioni più orientate all'analisi e alla gestione di dati in tempo reale, con *digital twin* e *dashboard* avanzate che permettono di controllare parametri fondamentali per la mobilità, la sicurezza, l'energia e altri servizi urbani (Charitonidou, 2022). L'integrazione di dati rilevati da sensori e database istituzionali mette in evidenza uno dei bisogni più urgenti emersi nell'indagine: la capacità di raccogliere, unificare e validare informazioni eterogenee per ottenere una visione coerente del sistema urbano o territoriale.

Con uno sguardo rivolto alle tecnologie emergenti, *Netherlands AI Coalition* (NLAIC) illustra come il *Machine Learning* (ML) possa essere impiegato per potenziare l'analisi predittiva e la capacità di identificare pattern non immediatamente evidenti, fornendo elementi decisivi per progettare azioni mirate in settori complessi come sanità, mobilità e transizione energetica. Da qui l'importanza di implementare tecniche di analisi dei dati fondate su basi di conoscenza condivise, validate e rese operative per la valutazione e il monitoraggio dei progetti a scale diverse.

Infine, i progetti di ricerca finanziati dall'Unione Europea, come *Smart Resilience Indicators for Smart Critical Infrastructures* (CORDIS n. 700621), confermano la tendenza a definire standard e linee guida per l'impiego di indicatori in contesti di sicurezza e innovazione urbana. La prospettiva europea, inoltre, pone al centro l'importanza di rendicontare in modo trasparente i risultati e di adottare metodologie rigorose di valutazione dell'impatto, per assicurare che i fondi pubblici generino effetti tangibili e replicabili in diversi contesti.

Dall'indagine effettuata sono emerse indicazioni utili all'implementazione del software IBTool. In primo luogo, la possibilità di organizzare fonti plurime di indicatori e di offrire una visualizzazione interattiva degli stessi, mediante *dashboard* di facile lettura e interpretazione, rappresenta un elemento cruciale per l'usabilità del sistema. In secondo luogo, la sperimentazione di approcci partecipativi e collaborativi, come living lab e geodesign, evidenzia la necessità di prevedere moduli per il coinvolgimento attivo degli stakeholder, affinché la definizione e la validazione degli indicatori rispondano effettivamente ai bisogni reali dei contesti urbani.

Inoltre, la crescente attenzione verso processi di governance collaborativa, che generano elevati livelli di incertezza, suggerisce di implementare strumenti capaci di cogliere le possibili divergenze di opinione per integrarle all'interno dei processi decisionali in modo democratico (Meijer e Bolívar, 2015).

In sintesi, l'indagine conferma il ruolo strategico di soluzioni *indicator-based* per promuovere lo sviluppo sostenibile e la qualità dei processi decisionali in ambito urbano e territoriale. Dai diversi progetti e piattaforme presi in esame, IBTool trae spunti per accrescere la propria flessibilità, robustezza e capacità di adattarsi a contesti e utenti differenti.

## 4. Metodologia

Il *software* IBTool si configura come un sistema di valutazione multicriteriale indirizzato a supportare il processo decisionale nelle fasi di monitoraggio dei territori rispetto al raggiungimento dei target di sostenibilità e della valutazione di progetti o scenari di trasformazione urbana sostenibili. Concepito per integrare un insieme strutturato di indicatori, IBTool consente di valutare e dare priorità agli interventi in linea con i target del SDG11. Lo strumento impiega metodologie di scoring e ranking per determinare la rilevanza e le priorità dei *Key Performance Indicators* (KPI), garantendo un approccio strutturato e basato sui dati per facilitare le scelte di pianificazione urbana sostenibile.

Il processo metodologico su cui è stato basato IBTool segue una logica collaborativa e multi-stakeholder secondo il modello della quadrupla elica (*quadruple helix*) (Cavallini et al., 2016; Roman & Fellnhofner, 2022) ed è stato supportato nel suo sviluppo dalla metodologia AGILE (Misra et al., 2012). Questo approccio ha incluso, infatti, una revisione approfondita della letteratura sugli strumenti di valutazione esistenti, consultazioni con esperti e *focus group*, oltre a test empirici per validarne l'efficacia.

In particolare, nella fase ex-ante, il software ha l'obiettivo di supportare l'identificazione delle aree critiche di intervento e la strutturazione dei progetti di trasformazione urbana, facilitando l'allocazione dei finanziamenti e valutando le proposte rispetto ai criteri del Goal 11. Nella fase ex-post, invece, consente il monitoraggio e la certificazione dei progetti finanziati, assicurando il raggiungimento degli obiettivi di sostenibilità e fornendo un quadro coerente per la valutazione delle prestazioni e dell'impatto.

Le attività di sviluppo e test legate a IBTool sono state organizzate all'interno del *Work Package 3* (WP3) di GLOSSA, coordinato da UNINA con il contributo di tutte le unità di ricerca. Il WP3 si concentra sulla definizione della metodologia multicriteriale dell'IBTool, sulla prioritizzazione degli indicatori selezionati nel WP2 e sulla verifica della sua applicabilità in diversi contesti urbani. Il processo coinvolge, inoltre, esperti di strumenti di valutazione e analisi multicriteriale, garantendo un quadro scientifico solido. IBTool rappresenta un risultato tecnico chiave del progetto GLOSSA, offrendo un sistema open-source di supporto decisionale per la pianificazione e trasformazione urbana sostenibile.

In sintesi, i quattro principali metodi convalidati e sperimentati dalle unità di ricerca e implementati nel software nell'ambito del WP3 sono:

1. la classificazione degli indicatori basata su valutazioni qualitative con metodi delle preferenze dichiarate che implementano *Delphi Fuzzy Method* (DFM), *Triangular Fuzzy Numbers* (TFN), e algoritmi di clustering (*K-means*);
2. la definizione delle priorità degli indicatori (pesi) con il metodo MCDA denominato *Best Worst Method* (BWM);
3. gli indici delle performance di sostenibilità con metodo *Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution* (TOPSIS);
4. Valutazione d'impatto di scenari o progetti effettivi sui territori.

Il paragrafo successivo (Sezione 4.1) presenta una descrizione dettagliata dei requisiti tecnici di IBTool .

### 4.1 I requisiti tecnici di IBtool

IBTool è un software *open-source*, sviluppato nell'ambito del progetto GLOSSA, per la validazione, selezione, ponderazione e valutazione di KPI di sostenibilità legati al Goal 11 (SDG11). Il software è composto essenzialmente da un *client* ed un *server*, ed è stato progettato in una logica *user-friendly*.

Il *client* è stato sviluppato utilizzando GDscript grazie alla flessibilità offerta dal motore Godot, rilasciato con licenza MIT. Questo ha permesso di realizzare un'interfaccia intuitiva ed ottimizzata

per ridurre il carico cognitivo degli utenti, integrando indicatori derivanti da protocolli di sostenibilità e da letteratura scientifica. Per garantire maggiore autonomia ed evitare dipendenze esterne, sono stati implementati direttamente nel client gli algoritmi di analisi dei dati, come il *K-means* con *Naive Sharding* (Mayo, 2016), e di *decision-making*, come il *BWM* con l'algoritmo di *linear programming* denominato *simplex* (Rezaei, 2015), ed il metodo multi-criteri TOPSIS (Hwang e Yoon, 1981; Behzadian et al., 2012). Questo approccio ha permesso di ottenere un software completamente *stand-alone*, senza necessità di installare pacchetti aggiuntivi che avrebbero comportato problemi di compatibilità con i diversi sistemi operativi. Nella sua versione attuale, IBTool è, infatti, completamente compatibile sia per sistemi Windows che macOS.

Il *server*, invece, è stato realizzato con Python e utilizza *Flask* per la gestione delle API, comunicando con un database *SQLite* per l'archiviazione delle informazioni. La comunicazione tra client e server avviene tramite *WebSocket*, consentendo la trasmissione in tempo reale di notifiche ed eventi senza che il server debba eseguire elaborazioni dirette sui dati. Questa architettura consente una gestione più fluida ed efficiente delle operazioni. Per il *deploy*, si è scelto di utilizzare server basati su Ubuntu Linux, una soluzione gratuita e consolidata nel mondo open-source. Per quanto riguarda la distribuzione, IBTool sarà disponibile agli utenti per il download attraverso una pagina web dedicata. Il codice sorgente sarà gestito tramite Git e ospitato su GitHub per favorire la trasparenza e la collaborazione della comunità open-source. La documentazione tecnica, che accompagnerà il rilascio ufficiale, fornirà dettagli sui requisiti di sistema e sul funzionamento della comunicazione tra client e server.

Infine, per facilitare la migrazione del software tra server, sono stati sviluppati strumenti appositi in *BASH*, compatibili con i sistemi *UNIX*. Questa scelta permette una gestione più agevole del deployment e un'elevata portabilità della piattaforma. IBTool rappresenta quindi una soluzione innovativa e facilmente accessibile per le valutazioni basate sugli indicatori di sostenibilità, garantendo prestazioni elevate e facilità d'uso.

## 5. Gli step operativi di IBTool

Il DSS proposto è stato sviluppato per facilitare le PA nella selezione e prioritizzazione di KPI, al fine di valutare le prestazioni di quartieri ed edifici in termini di sostenibilità e l'impatto di progetti urbani sul territorio. Per questo motivo, IBTool si configura come un software modulare in grado di integrare metodi qualitativi e quantitativi, sostenere processi iterativi, e garantire il coinvolgimento di diversi tipi di utenti (da esperti di valutazione a stakeholders), con livelli differenziati di automazione e trasparenza.

Il flusso di lavoro di IBTool si articola in 4 fasi principali suddivise in 10 *step* operativi. Le fasi principali sono:

1. Archiviazione dei dati
2. Validazione
3. Ponderazione
4. Valutazione dell'impatto/prestazioni

Ogni fase fornisce risultati intermedi propedeutici agli step successivi fino a restituire raccomandazioni e decisioni basate su analisi strutturate, confronti di scenario e approcci multicriteriali (Figura 1).

Nel flusso di lavoro sono stati implementati diversi metodi multicriteri, algoritmi di Machine Learning, e metodi di valutazione con l'obiettivo di: (i) supportare le PA; (ii) guidare gruppi esperti e comunità locali; (iii) facilitare le decisioni nelle diverse fasi del processo decisionale con un ruolo di supporto, di guida, o decisivo, come esplicitato in Tabella 2.

I successivi sottoparagrafi 5.1 - 5.4 forniscono una descrizione dettagliata dei 10 step operativi nell'ambito delle loro 4 fasi principali.

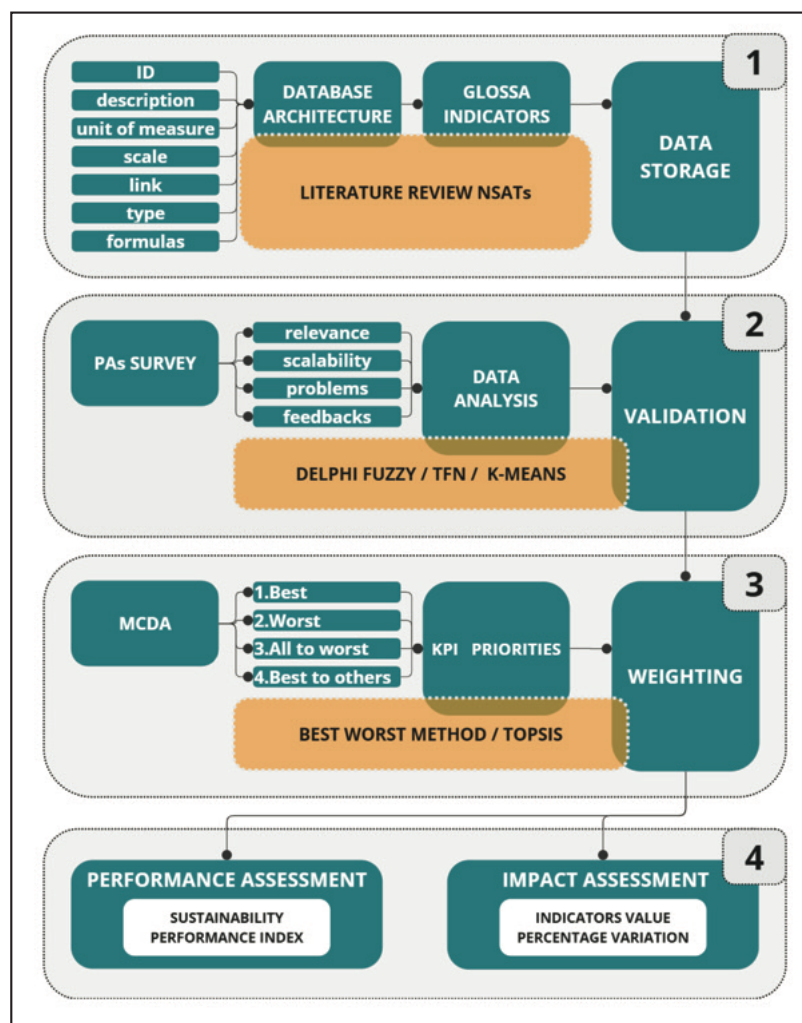


Figura 1. IBTool software methodological workflow.

Tabella 2. IBTool step operative

Step	Software input	Metodi/ Strumenti	Utenti	Software output	DSS
	Manual	Literature review	Super-Utente	Storage	Supporto
<b>2.Validation - I round</b>	Manual	Survey - Frequency analysis	Multi-Utente	Scoring	Supporto/ Orientamento
<b>3.Validation - II round</b>	Automatic	Delphi Fuzzy	Black-boxed	Ranking	Orientamento
<b>4.Validation - III round</b>	Automatic	K-means + Naive Sharding algorithm	Black-boxed	Clustering	Orientamento /Decisivo
<b>5.Validation - IV round</b>	Manual	Focus Group	Singolo-Utente	KPI selection	Orientamento
<b>6.Weighting</b>	Manual/Auto- matic	BWM (MCDA) with Focus Group	Singolo-Utente	Weights elicitation	Supporto/ Orientamento
<b>7.Performance Assessment - I round</b>	Manual	Indicators measu- rement	Singolo-Utente	Storage	Supporto/ Orientamento

Segue **Tabella 2**. IBTool step operative

Step	Software input	Metodi/ Strumenti	Utenti	Software output	DSS
<b>8.Performance Assessment - II round</b>	Automatic	TOPSIS (MCDA)	Black-boxed	Ranking	Supporto/ Orientamento
<b>9.Impact Assessment - I round</b>	Manual	Indicators measurement	Singolo-Utente	Storage	Supporto
<b>2.Validation - I round</b>	Manual	Survey - Frequency analysis	Multi-Utente	Scoring	Supporto/ Orientamento
<b>10.Impact Assessment - II round</b>	Automatic	Scenario Analysis	Black-boxed	Variazione percentuale	Orientamento

### 5.1 Data Storage (Step 1)

Nel primo step di utilizzo, riservato agli amministratori di sistema da ora chiamati Superutenti, si procede alla raccolta e alla classificazione degli indicatori del SDG11, selezionati nell'ambito del WP2 di GLOSSA. Questa fase si basa su una revisione approfondita della letteratura di riferimento, così da garantire che gli indicatori raccolti abbiano una solida base scientifica e rispondano agli obiettivi di progetto.

Nel prototipo sperimentale adottato da GLOSSA, si è scelto di focalizzarsi su indicatori relativi alla sostenibilità urbana nell'ambito del SDG11, tuttavia l'architettura di IBTool è sufficientemente flessibile per accogliere diversi set di indicatori. Conclusa la prima fase di definizione degli indicatori, infatti, i superutenti possono inserire i dati direttamente nel client, sfruttando un'interfaccia che consente di compilare le principali caratteristiche di ogni indicatore, oppure caricare liste appositamente strutturate in formato *json* dal server.

Come si evince dalla Figura 2, ciascun indicatore è caratterizzato dai seguenti *item*:

- *ID*. Indica un identificativo univoco che permette di rintracciare e gestire l'indicatore all'interno del database.
- *Target*. Specifica il numero identificativo del target degli Obiettivi di Sviluppo Sostenibile.
- *Categoria*. Identifica la macro-area o la sfera tematica cui appartiene l'indicatore.
- *Tema*. Definisce in modo specifico l'ambito di valutazione dell'indicatore all'interno della propria macro-categoria.
- *Descrizione*. Fornisce un testo esplicativo sul significato e lo scopo dell'indicatore, fondamentale per descrivere il fenomeno rilevato anche ad utenti non esperti di settore.
- *Unità di misura*. Indica la metrica utilizzata per quantificare l'indicatore, così come desunto dall'analisi della letteratura o dai protocolli di sostenibilità, in scale quantitative o qualitative, basate su etichette semantiche - come la scala likert - o altre tipologie.
- *Calcolo*. Descrive come è possibile determinare il valore dell'indicatore così come riportato dall'analisi della letteratura o dai protocolli di sostenibilità (ad es: "Indagine EU-Silc").
- *Scala di analisi*. Specifica il livello territoriale o l'unità minima spaziale a cui l'indicatore è calcolato (edificio o quartiere)
- *Fase di utilizzo*. Indica in quale fase del processo decisionale l'indicatore può risultare utile (monitoraggio o valutazione).
- *Fonte*. Riporta le citazioni bibliografiche o gli enti che producono o curano i dati utili alla definizione dell'indicatore.

Un nuovo sistema di supporto alla decisione per valutare i livelli di sostenibilità delle città: il software IBTool

- *Link*. Riporta i riferimenti puntuali (URL) dove reperire informazioni più specifiche (metadati, rapporti ufficiali, banche dati, protocolli di sostenibilità).
- *Preset*. Campo che i superutenti possono utilizzare per selezionare gli indicatori da somministrare agli utenti per la fase di validazione.
- *Note Glossa*. Sezione dedicata a eventuali annotazioni aggiuntive, riferimenti interni o commenti utili ai superutenti per il co-editing del database.
- *UUID*. Stringa alfanumerica che garantisce l'identificazione dell'indicatore in modo univoco all'interno del server.
- *Modificato*. Evidenzia quando l'indicatore è stato aggiornato o modificato per l'ultima volta, tracciando la cronologia delle revisioni.

The screenshot shows a web interface for an indicator. At the top, it displays the code '11.1.1.1' and the indicator name 'Percentuale di persone che vivono in abitazioni con problemi strutturali o problemi di umidità'. Below this, there are input fields for 'Target' (11.1), 'Categoria' (Vivibilità abitazioni), and 'ID' (1). A text box provides a description: 'L'indicatore misura la percentuale di persone che vivono in abitazioni che presentano almeno uno tra i seguenti problemi: a) problemi strutturali dell'abitazione (es. tetti, soffitti, pavimenti) b) problemi di umidità (es. muri, pavimenti, fondamenta)'. The form includes several fields: 'Tema' (Problemi strutturali e umidità), 'Unità di misura' (%), 'Calcolo' (Indagine EU-Silc), 'Scala di analisi' (Quartiere), 'Fase di utilizzo' (Monitoraggio), and 'Fonte' (ISTAT 2023a; ISTAT 2023b). There is a 'Link a fonti' section with two entries: 'ISTAT 2023 (metadati)' with a URL and 'Apri il link' button, and 'ISTAT 2023 (Rapporto ISTAT)' with a URL and 'Apri il link' button. Below this are sections for 'Preset', 'Note Glossa', 'UUID' (1cc8996e-173b-43e4-a800-249f13706e41), and 'Modificato' (Lun 21 Ott 2024 - 15:20:36).

Figura 2. IBTool Pannello degli indicatori.

Grazie a questa struttura, IBTool facilita la creazione di un archivio ragionato di indicatori, assicurando che ciascun *item* sia definito in modo trasparente e tracciabile. Inoltre, IBTool consente, esclusivamente ai superutenti, di visualizzare la lista di indicatori raccolti in un pannello di sintesi che dà accesso al *cloud*.

Il superutente lavora prevalentemente in locale con la possibilità di accedere alla lista degli indicatori caricati nel server oppure aggiornare la stessa, inviando le modifiche al server, rendendole quindi condivise a tutti gli altri utenti. In tempo reale, il sistema consente di tracciare gli interventi effettuati, notificando le modifiche sugli indicatori aggiornati, eliminati, o aggiunti e riportando data e ora della modifica (Figura 3). Grazie a questa logica di condivisione selettiva, i superutenti mantengono il controllo sulle fasi preliminari di inserimento ed eventuale revisione degli indicatori, prima di renderle disponibili all'intera squadra di lavoro. Ciò facilita e supporta il lavoro collaborativo, riduce i conflitti e assicura che la base dati si evolva in modo coerente con le diverse esigenze operative.

Infine, dal Pannello degli indicatori IBTool permette l'attribuzione di un *preset* agli indicatori che i superutenti vogliono selezionare in base a specifiche sessioni di validazione. IBTool, quindi, rende disponibile l'intera lista di indicatori che può essere utilizzata in forma integrale o parziale come *input* per le fasi successive del *workflow*. È importante sottolineare come IBTool, in questa fase, supporti in modo collaborativo la gestione del database degli indicatori da parte dei superutenti che lavorano alla loro individuazione e catalogazione.

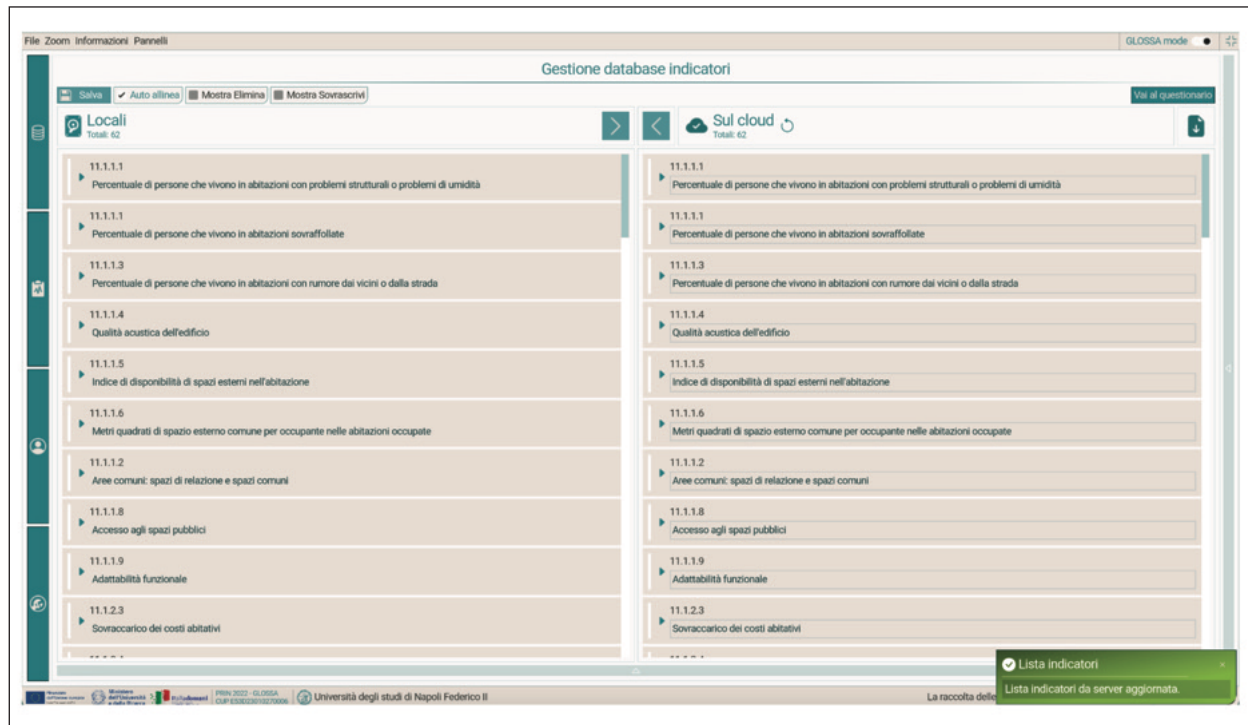


Figura 3. IBTool Pannello “Gestione database indicatori”.

## 5.2 Validazione (Step 2 - 5)

Nel I round di validazione, dopo aver individuato il set di indicatori da sottoporre alla valutazione di esperti e stakeholder, IBTool consente di visualizzare la sessione di *survey*, creata dal superutente nello step precedente grazie al pannello dedicato nell'interfaccia di “Gestione Sessioni ed analisi dei dati”. L'autenticazione avviene tramite un codice di attivazione fornito dal superutente agli intervistati, i quali, dopo averlo immesso, possono accedere all'interfaccia principale del client per rispondere al questionario.

Nell'interfaccia principale, l'utente visualizza l'elenco degli indicatori, sulla sinistra, suddivisi nei rispettivi temi e le categorie corrispondenti ai target (Figura 4). Per ogni indicatore viene visualizzata una scheda informativa che ne riporta gli *item* specifici. L'utente è, quindi, invitato ad esprimere una preferenza rispetto ai due criteri definiti da GLOSSA per la validazione degli indicatori:

- Rilevanza dell'indicatore rispetto alla domanda di valutazione;
- Calcolabilità dell'indicatore rispetto al contesto territoriale di riferimento.

La scala semantica di valutazione permette di attribuire 3 giudizi qualitativi di rilevanza e calcolabilità, corrispondenti a “nullo”, “medio” ed “elevato”, con la possibilità di spuntare l'opzione “non so”, in caso di incertezza o carenza di informazioni rispetto a specifici indicatori. È inoltre possibile segnalare eventuali problematiche connesse agli indicatori mediante le seguenti opzioni predefinite:

Un nuovo sistema di supporto alla decisione per valutare i livelli di sostenibilità delle città: il software IBTool

- Nessuna problematica
- Dati assenti
- Dati non attendibili
- Dati parziali
- Dati proprietari
- Altre problematiche (con inserimento opzionale di commento testuale).

Figura 4. IBTool Pannello “Questionario di Validazione”.

In questo processo multi-stakeholders, IBTool facilita la compilazione del questionario grazie ad un tutorial dinamico sviluppato per spiegare le varie componenti e le modalità di utilizzo dei pannelli dell'interfaccia. Concluso il questionario l'utente ha la possibilità di rivedere le risposte date ai diversi indicatori ed inviare al server di GLOSSA i risultati della valutazione tramite il tasto “Invia risposte”, che diventa accessibile solo al completamento del questionario.

Il *client* effettua una Analisi di Frequenza (AF) delle risposte ottenute in tempo reale, definendo così un primo livello di conoscenza che si traduce in uno *scoring* relativo ai giudizi semantici di Rilevanza, Calcolabilità e Problematiche.

Nel II round di validazione, utilizzando le informazioni ottenute dai questionari e dai risultati dalla AF come input, IBTool trasforma i dati qualitativi in dati quantitativi tramite il FDM che è stato adottato per gestire in maniera rigorosa la fase di validazione, riducendo l'incertezza legata ai giudizi esperti e favorendo il raggiungimento di un consenso condiviso (Padilla-Rivera et al., 2021). L'integrazione del metodo Delphi (tradizionalmente basato su iterazioni di consultazione esperta) con la logica fuzzy consente, di catturare sfumature e ambiguità spesso presenti nei processi decisionali qualitativi (Murray et al., 1985; Kuo & Chen, 2008).

Vengono di seguito descritti gli step operativi del DFM così come implementati da IBTool.

Il primo step del processo prevede la traduzione numerica dei dati di input. Per ogni indicatore e criterio di validazione, IBTool raccoglie i dati di frequenza delle risposte fornite dai partecipanti, assegnando a ciascun giudizio semantico un valore numerico basato sulla scala di Saaty. Nello specifico, le valutazioni vengono così codificate:

- «Nulla» = 1,

- «Media» = 5
- «Alta» = 9

Nel caso in cui un partecipante selezioni la risposta «Non so», IBTool applica uno scoring pari a -1 sul totale dei rispondenti, riducendo di conseguenza la dimensione del campione considerato ed evitando una penalizzazione del valore dell'indicatore. Questa regola assicura che le valutazioni siano calcolate solo sulla base delle effettive competenze degli intervistati.

Successivamente, si procede con il calcolo del TFN per ciascun indicatore e criterio. Questo numero viene definito attraverso tre valori chiave: il limite inferiore "a", che corrisponde al punteggio più basso tra quelli selezionati; il limite superiore "c", che rappresenta il punteggio più alto; e il valore centrale "b", calcolato come media ponderata delle categorie selezionate, rapportando la frequenza delle risposte al numero effettivo di partecipanti.

Una volta determinati i TFN per ciascun criterio, il passaggio successivo consiste nella loro fusione, per ogni indicatore, tramite un estensore fuzzy (*Fuzzy Synthetic Extent*). Per ottenere un valore unico, i due numeri fuzzy triangolari vengono combinati attraverso una media, che permette di ottenere un valore rappresentativo che consideri entrambi i criteri con uguale peso.

Dopo questa fase, si applica il processo di *defuzzification*, che consente di trasformare la tripletta del TFN in un valore crisp "D", che rappresenta l'indice composito di rilevanza e calcolabilità. Questo viene calcolato tramite il metodo del centro di gravità, ottenendo "D" come la media aritmetica dei tre valori del numero fuzzy. Il risultato di questo procedimento porta alla creazione di un primo ranking quanti-qualitativo degli indicatori, ordinati in base al punteggio crisp ottenuto e alla loro massimizzazione rispetto ai criteri di validazione.

Durante il terzo round di validazione, IBTool implementa in tempo reale l'algoritmo di clustering K-means per organizzare gli indicatori in gruppi omogenei. Il clustering viene effettuato sulla base dei valori Crisp ottenuti dal DFM e prevede la disposizione degli indicatori in tre cluster principali: (i) "indicatori da selezionare", caratterizzati da punteggi Crisp elevati; (ii) "indicatori selezionabili" con punteggi intermedi; (iii) «indicatori da scartare», che presentano punteggi più bassi.

L'algoritmo di ML K-means, raffinato tramite la procedura di inizializzazione *Naive Sharding* (Mayo, 2016), opera a partire da una selezione di "K" potenziali centroidi iniziali, stabiliti in funzione della quantità di cluster predefiniti. La procedura permette di ottenere dei punti di partenza iniziali in posizioni che rispettano l'effettivo andamento dei dati nel loro ordinamento. Una volta definiti i centroidi iniziali, ogni punto del dataset viene assegnato al centro più vicino, calcolando la distanza euclidea e valutando la prossimità ai centroidi iniziali. Terminata la procedura di assegnazione, ognuno dei "K" centroidi viene riposizionato attraverso la media dei punti che gli appartengono. Dopo la ricollocazione dei centroidi, l'algoritmo riesamina l'intero dataset per riassegnare i punti ai centri dei cluster, poiché potrebbe verificarsi che alcuni di essi risultino più vicini a un diverso centro. Il processo di riassegnazione e ricollocazione continua a iterare, fino a quando i centroidi si stabilizzano, ovvero le assegnazioni dei dati non presentano più significativi spostamenti. A quel punto si considera l'algoritmo convergente, e i K gruppi identificati.

Nel IV round di validazione, l'attenzione si concentra su un momento di confronto diretto e qualitativo, in cui un gruppo di esperti o il singolo DM analizza in modo approfondito gli esiti derivanti dalle fasi precedenti. Quindi, i risultati ottenuti con metodi quantitativi e automatizzati vengono rilette e discussi con i partecipanti, che hanno la possibilità di esprimere feedback ragionati e di confrontarsi sulla selezione o esclusione degli indicatori validati.

L'interfaccia del software nella sezione "Gestione Sessioni e analisi dei dati" (figura 5) presenta diverse configurazioni dei dati che facilitano la discussione. Permette di disporre gli indicatori in graduatorie che seguono diverse logiche, di cui le prime tre sono basate sulla frequenza delle risposte ai questionari, dove gli indicatori sono valutati rispetto a calcolabilità, rilevanza e problematiche, e l'ultima dispone gli indicatori nei tre cluster risultanti dal K-means, in funzione della loro selezionabilità espressa tramite l'indice composito di rilevanza e calcolabilità.

Alla conclusione della discussione, si procede a una selezione finale in cui il gruppo o il DM stabilisce quali indicatori entreranno a far parte del sistema di valutazione come KPI. Di default, IBTool propone una selezione iniziale che include tutti gli indicatori appartenenti al primo cluster, ossia

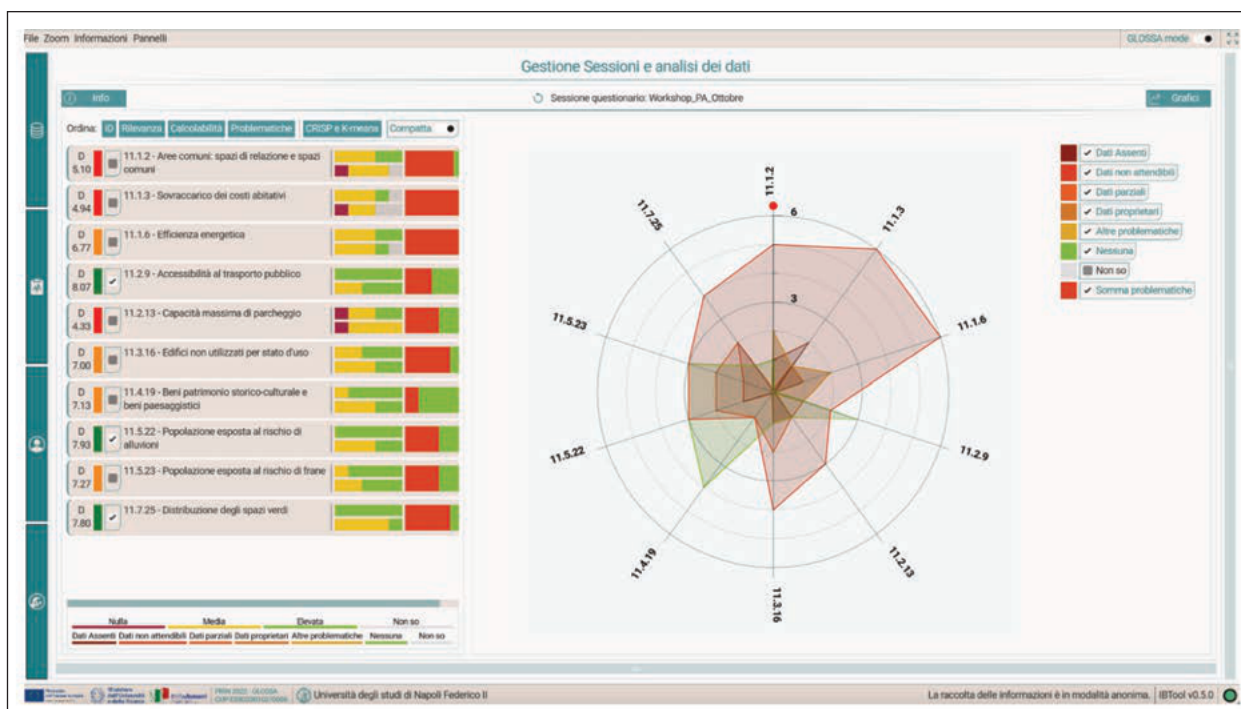


Figura 5. IBTool Pannello “Gestione Sessione e analisi dei dati”.

quelli valutati come più rilevanti e calcolabili. Questa selezione non è tuttavia vincolante poiché c'è la possibilità di modificare, aggiungere o rimuovere indicatori in base alle osservazioni qualitative e alle specificità del contesto. Una limitazione di IBTool impone all'utente la selezione di massimo 10 KPI per limitare le relazioni di incoerenza nella successiva fase di ponderazione. La formalizzazione di tale selezione dovrà essere documentata in un report che chiarisca le motivazioni alla base delle decisioni adottate in modo da garantire trasparenza e tracciabilità dell'intero processo di validazione, che combina metodi quantitativi e momenti di confronto qualitativo.

Il round IV, infine, funge da raccordo tra la mole di dati aggregati nelle fasi precedenti e le reali esigenze di pianificazione o di policy-making, assicurando che gli indicatori scelti siano non solo statisticamente solidi, ma anche effettivamente rispondenti alle necessità e agli obiettivi del contesto in cui verranno applicati.

### 5.3 Weighting (Step 6)

Il BWM è un approccio MCDA ideato da Rezaei (2015) e utilizzato per determinare l'importanza dei diversi criteri di un problema decisionale, seguendo 4 step strutturati (Rezaei, 2015). Il processo inizia con l'identificazione dei criteri rilevanti per la decisione. Successivamente, il DMs seleziona il criterio più importante (best) e quello meno importante (worst). A questo punto, si confronta quanto il criterio migliore sia più importante rispetto a tutti gli altri (best to others) e, successivamente, quanto ogni criterio sia più importante rispetto al peggiore (others to worst). Questi confronti sono utilizzati per creare un insieme di equazioni matematiche, che vengono poi risolte per determinare i pesi ottimali di ciascun criterio, garantendo al contempo coerenza nel processo decisionale. Uno dei principali vantaggi del BWM è che richiede un numero inferiore di confronti rispetto ai metodi tradizionali, come l'Analytic Hierarchy Process (AHP), rendendolo più rapido e semplice da utilizzare, anche per persone non esperte.

Il BWM è stato integrato in IBTool attraverso il pannello di interfaccia denominato “Sessione di valutazione”, come mostrato in Figura 6. Questo pannello è suddiviso in tre parti: sulla sinistra, viene fornita una descrizione dell'obiettivo principale e delle istruzioni relative al metodo per informare l'utente; la finestra centrale consente all'utente di compilare i campi necessari per eseguire il processo di valutazione con il BWM; mentre la terza parte del pannello, sulla destra, mostra i risultati in ter-

mini di indice di coerenza e i pesi ottenuti al completamento della fase di attribuzione dei giudizi semantici da 1 a 9 secondo la scala di Saaty.

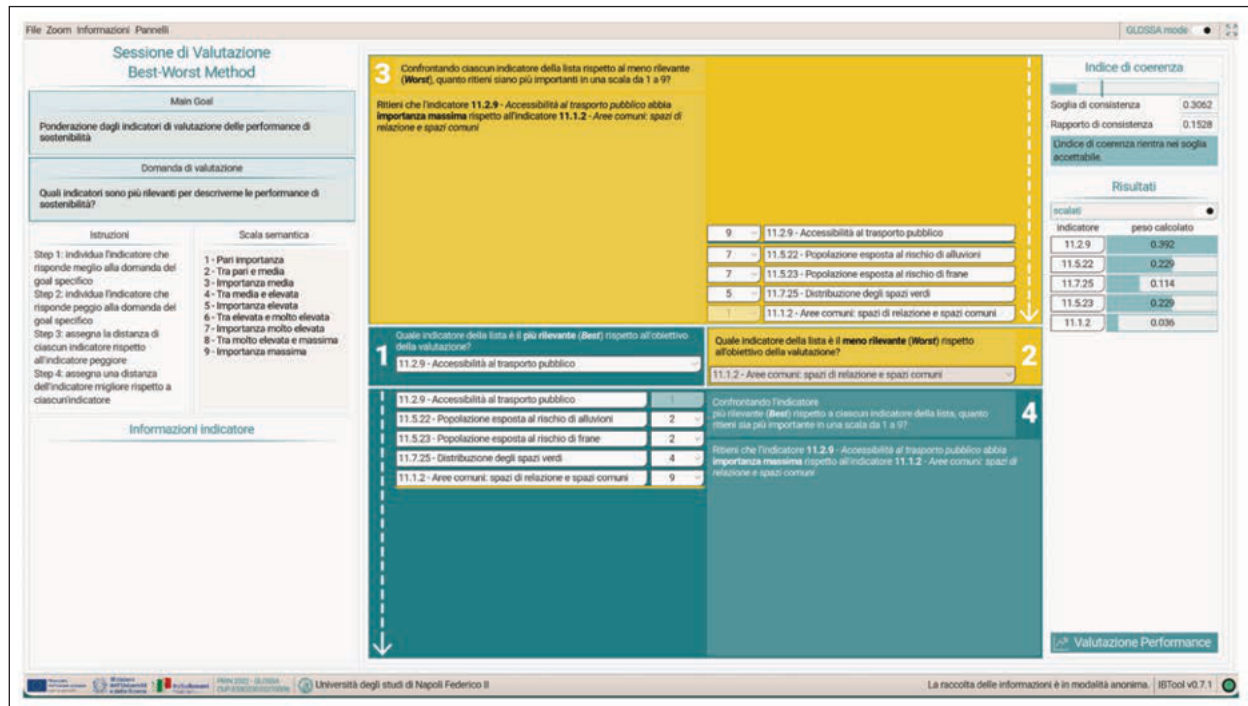


Figura 6. IBTool Pannello "Sessione di Valutazione BWM".

Il BWM corrisponde alla fase 6 del processo implementato nel software e richiede l'inserimento manuale di dati da parte degli utenti, i quali devono compilare la survey del BWM imputando i propri giudizi in una logica di focus group facilitato da esperti. Il numero massimo di indicatori che è possibile valutare con il BWM è stato fissato a 10, poiché lo sforzo cognitivo aumenta all'aumentare del numero di elementi da valutare portando a relazioni di incoerenza più frequenti e rendendo più complessa la fase di scelta (Saaty, 2001). Il client, quindi, calcola le equazioni alla base del metodo e restituisce automaticamente agli utenti i pesi degli indicatori elicitati.

In questa fase, il ruolo del DSS è di supporto ai DMs per la definizione delle priorità dei KPI, ma anche di guida al bilanciamento di indici composti che siano effettivamente legati ai contesti territoriali o agli obiettivi prioritari di valutazione, e che saranno prodotti nelle ultime fasi del processo decisionale facilitato da IBTool.

#### 5.4 Valutazione di performance e impatti (Fasi 7 - 10)

Gli step 7 e 8 consentono agli utenti di effettuare una valutazione delle performance di alternative decisionali (ad esempio: quartieri, progetti, aree di interesse, ecc.) attraverso un indice composito caratterizzato dalla combinazione degli indicatori selezionati, validati e ponderati nelle fasi precedenti. In particolare, nello step 7, è richiesto all'utente di imputare i valori dei KPI, preliminarmente calcolati, in un apposito modulo contenuto nel pannello denominato "Immissione valori alternative" (Figura 7).

L'aggregazione dei pesi con i valori degli indicatori avviene al termine del processo di imputazione tramite il metodo TOPSIS, che permette di calcolare l'indice di performance dal confronto delle alternative del problema decisionale e mostra, nell'area sottostante dell'interfaccia, gli istogrammi delle performance che derivano dal confronto delle alternative rispetto a ciascun indicatore (a sinistra) e degli indici composti delle alternative (a destra).

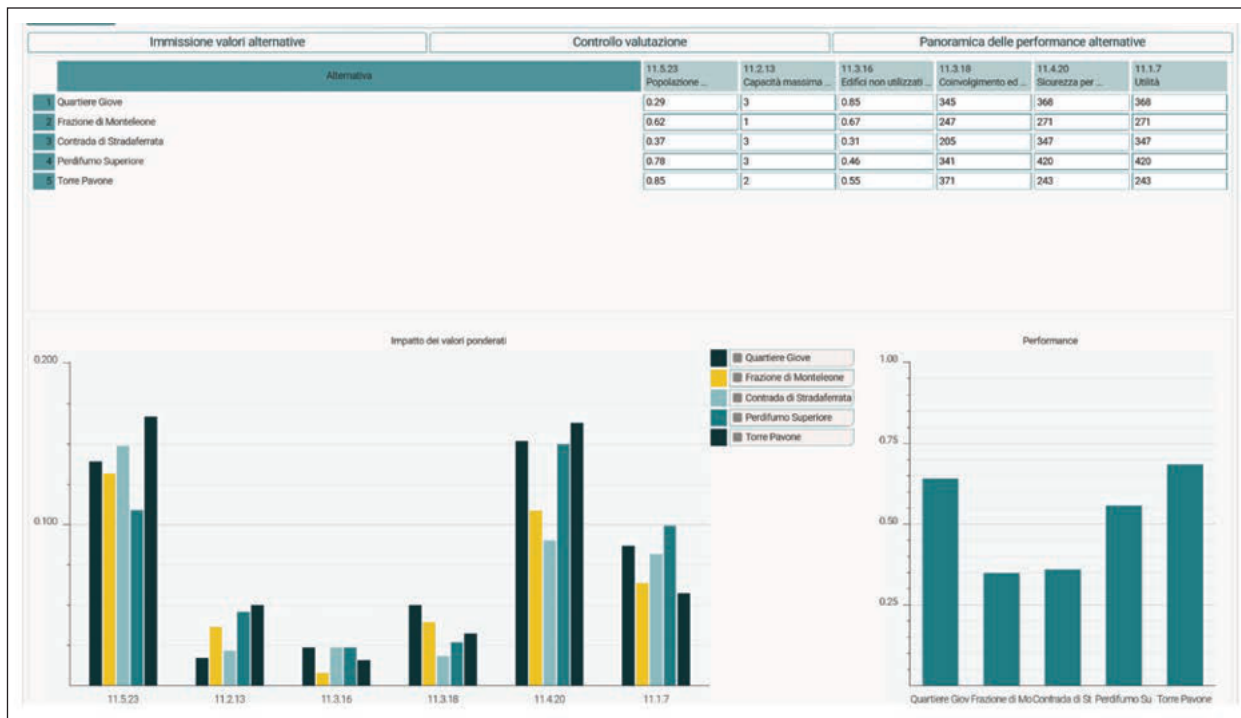


Figura 7. IBTool Pannello “Immissione valori alternative”.

Nel secondo pannello dello step 7, denominato “Controllo valutazione”, è inoltre possibile stabilire delle soglie di benchmark indipendenti dai valori ideali negativi e positivi, determinati dal metodo TOPSIS, per ciascun indicatore (Figura 8). La flessibilità nella scelta di soglie che non derivino dal confronto diretto fra le alternative del problema decisionale consente di bilanciare i valori degli indicatori considerando contesti geografici e socio-demografici diversi, in una logica di equità che tiene conto delle differenze territoriali e che è alla base della scalabilità del sistema di conoscenza ideato da GLOSSA.



Figura 8. IBTool Pannello “Controllo Valutazione”.

Per concludere, il terzo pannello - denominato "Panoramica delle performance alternative" - mette in evidenza il valore degli indici compositi di performance per ciascuna alternativa, consentendo all'utente di ridefinire il verso degli indicatori e di visualizzare, in tempo reale, le variazioni nei ranking delle alternative e degli indicatori attraverso un grafico a istogrammi (Figura 9).

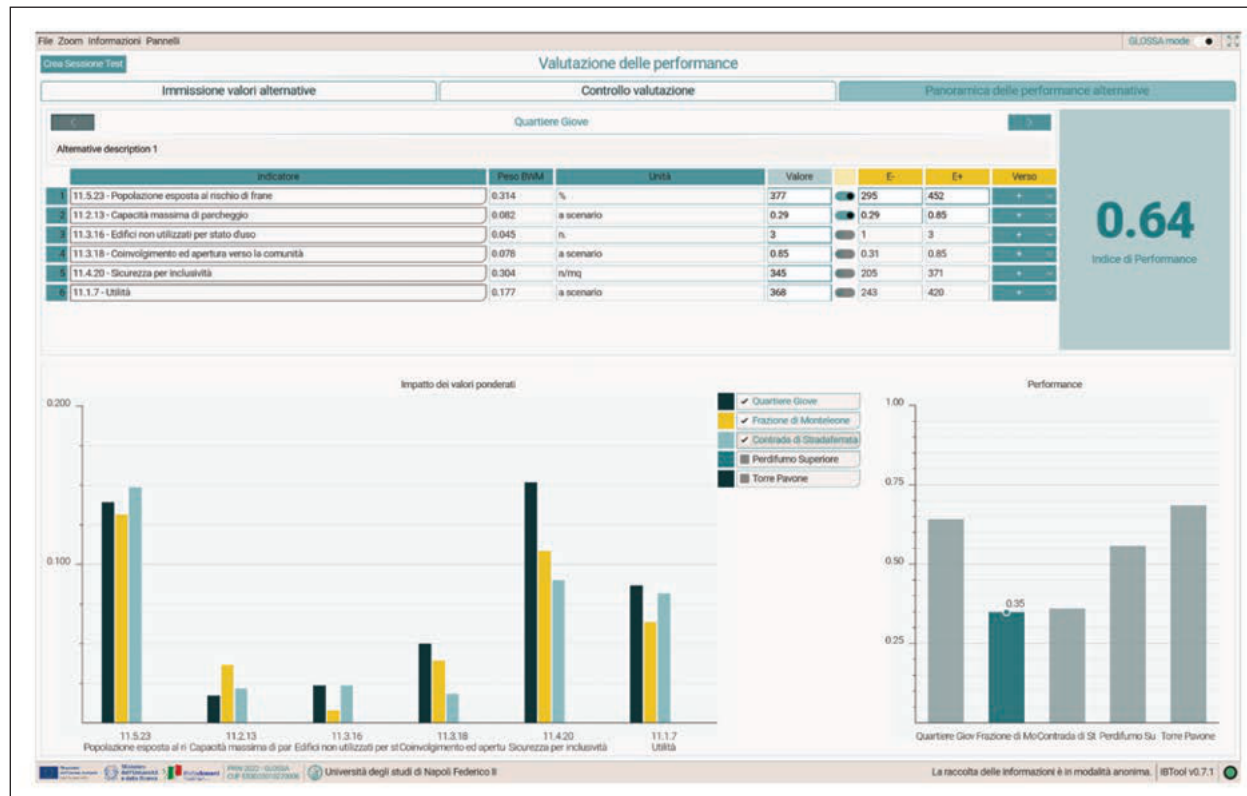


Figura 9. IBTool Pannello "Panoramica delle performance alternative".

Il ruolo del DSS in questi due step è duplice: da un lato, orienta i DMs nell'individuazione delle aree di criticità e miglioramento dei territori attraverso la lettura degli indici compositi; mentre, dall'altro, supporta la costruzione di diversi scenari di sostenibilità basati sulla variazione delle soglie di *benchmark* prefissate dal confronto delle alternative.

Gli step 9 e 10, che sono ancora in fase di sviluppo, consentiranno di valutare gli impatti di piani, programmi o progetti a scala urbana rispetto al set di indicatori di SDG11 selezionati, utilizzando i pesi ottenuti nello step 6 con il BWM. Questi pesi sono intesi come coefficienti di importanza relativa e serviranno alla determinazione di un ordinamento degli indicatori. In questo modo, sarà possibile apprezzare una variazione percentuale nei valori degli indicatori normalizzati determinata dall'impatto delle azioni di progetto previste, in una logica di scenario planning, o effettive, per la valutazione degli impatti diretti.

Le ultime fasi di IBTool esercitano un ruolo di supporto insito nella possibilità di archiviare i valori degli indicatori in scenari temporali o di progetto diversi e di orientamento nella ridefinizione degli indirizzi di sostenibilità o nella conferma dell'efficacia delle azioni oggetto di valutazione in termini di rispondenza ai target del Goal 11.

## 6. Conclusioni e Sviluppi futuri

IBTool è un software sperimentale ideato nell'ambito del progetto GLOSSA che consente di gestire processi decisionali a scala urbana attraverso l'archiviazione, la selezione, la prioritizzazione e la valutazione degli indicatori del SDG11. Nelle sue fasi di sviluppo, il software è stato modificato e imple-

mentato diverse volte, accogliendo i contributi da parte del team di ricerca, di esperti accademici, e tester della PA secondo la logica collaborativa della metodologia *AGILE*, ed è qui presentato nella sua *versione 0.7.1*.

L'esperienza finora maturata con lo sviluppo del prototipo e i primi risultati ottenuti nell'ambito di GLOSSA hanno dimostrato come un approccio integrato di valutazione, che includa metodi quali-quantitativi di validazione degli indicatori, MCDA e strumenti *open-source* di supporto alla decisione, possa orientare in modo più trasparente e collaborativo i processi decisionali legati alla sostenibilità urbana.

Il passaggio dalla divergenza alla convergenza costituisce un'altra potenziale caratteristica del ruolo facilitante di IBTool. Man mano che le prospettive si affinano, le opzioni vengono rivalutate e, in molti casi, riformulate. L'atto di catturare e rappresentare visivamente i contributi funge da catalizzatore per la creatività, consentendo l'emergere di soluzioni inedite (Jelassi e Beauclair 1987). In questo senso, IBTool risulta determinante nel creare un ambiente in cui le nuove idee possono evolvere all'interno della comprensione collettiva del gruppo.

In questa prospettiva, IBTool promuove un aspetto chiave della *"soft negotiation"*, incoraggiando i partecipanti a passare da una visione esclusivamente personale a una che includa elementi dei punti di vista altrui. Questa dinamica potenzia la capacità del gruppo di raggiungere una comprensione più olistica e condivisa della questione in esame. Il meccanismo di visualizzazione pubblica supporta ulteriormente tale processo dissociando i contributi dai loro autori, garantendo che le idee siano valutate in base al proprio valore intrinseco e non allo status o all'influenza di chi le propone. Tuttavia, quando è opportuno, i proponenti possono rivendicare la paternità delle proprie idee e promuoverne attivamente l'adozione.

Sebbene ognuno di questi elementi — legati all'anonimato e alla natura transizionale del modello — offra vantaggi specifici, essi si rafforzano a vicenda. Ad esempio, la possibilità di lavorare con oggetti transizionali come IBTool favorisce la giustizia procedurale, mentre l'ambiente strutturato ma flessibile offerto dal tool sostiene concretamente la generazione di opzioni innovative. In tal modo, IBTool non si limita a supportare l'organizzazione delle interazioni di gruppo, ma esercita un ruolo trasformativo nell'orientare il gruppo verso processi decisionali più inclusivi, creativi ed equi.

Le principali limitazioni dell'approccio proposto sono sia di carattere metodologico che tecnico, e saranno in parte superate nei futuri sviluppi del progetto considerando tempi e risorse disponibili.

Dal punto di vista metodologico, infatti, la sfida principale riguarda il perfezionamento delle procedure di validazione utili a rendere IBTool sempre più adatto a gestire situazioni caratterizzate da informazioni frammentarie o scarsamente reperibili, tipiche dei contesti urbani (Poli et al., 2024). Il limite operativo di 10 KPI gestibili dal software nella fase 3 di *weighting*, attualmente affrontabile attraverso un'organizzazione del processo decisionale in diversi round di valutazione tematica, potrà essere superato introducendo nuove funzionalità di ponderazione, ottimizzazione, e guida informata nei processi di selezione degli indicatori.

In aggiunta, la generalizzazione dell'architettura del *database* costituirà la base per estendere l'uso del software oltre i confini delle sperimentazioni attuali, rendendolo più flessibile e modulare grazie alla possibilità di riorganizzare gli indicatori categorizzati rispetto ad altri SDGs o *framework* operativi.

Allo stesso tempo, l'introduzione di sessioni *multi-users* abiliterà una gestione più dinamica dei processi di prioritizzazione, rafforzando la capacità di gestione delle informazioni raccolte da utenti eterogenei (decisori politici, *stakeholder*, tecnici, ricercatori, investitori, ecc.) e aggregando i risultati con metodi multicriteriali ibridi (Martínez López et al., 2023). In tal senso si implementeranno modalità *multi-stakeholders* anche per la costruzione degli indicatori di input e se ne aumenterà la coerenza con obiettivi contestualizzati di sostenibilità urbana, consentendo di perseguire iter valutativi più complessi in cui la definizione dei KPI rappresenti il fulcro di scelte partecipate e condivise.

I futuri sviluppi tecnologici, invece, si focalizzeranno sull'introduzione di una *suite* completa di miglioramenti progettati per potenziare funzionalità, accessibilità e sicurezza. In prima istanza, un solido sistema di localizzazione multilingue abiliterà gli utenti ad utilizzare il *DSS* in diverse località geografiche e per diversi tipi di problemi decisionali, garantendo un'esperienza più inclusiva.

Un sistema avanzato di autorizzazione, inoltre, includerà ruoli intermedi tra quelli di superutente ed utente offrendo maggiore flessibilità nella gestione degli accessi e delle responsabilità. L'accesso ai risultati delle survey di validazione, ad esempio, consentirà agli utenti di reperire facilmente informazioni pertinenti, favorendo trasparenza e aumentando la consapevolezza delle questioni emergenti. Al contempo, verranno implementati *backup* automatici e strumenti avanzati di gestione del server per assicurare l'integrità dei dati e le prestazioni globali del sistema. Per migliorare la gestione dei risultati, inoltre, la funzionalità di generazione automatica di report semplificherà ulteriormente il processo di validazione e valutazione, producendo documenti dettagliati sulle attività delle sessioni. Infine, l'interfaccia utente sarà ottimizzata mediante un'implementazione del design *UX*, semplificando ulteriormente la navigazione e rendendo l'esperienza di utilizzo del software più intuitiva e gradevole.

In prospettiva, l'estensione a casi di studio applicativi, previsti dal progetto GLOSSA e non ancora sperimentati, offrirà ulteriori opportunità per testare e migliorare IBTool, facendo emergere ambiti di avanzamento sia in termini di robustezza metodologica, con l'implementazione di altri tipi di metodi MCDA, che algoritmica, raffinando le procedure di *clustering*.

L'obiettivo è consolidare IBTool come strumento di supporto alle decisioni in grado di combinare rigore scientifico, versatilità operativa e capacità di favorire processi di governance più inclusivi e orientati al raggiungimento dei target di sostenibilità previsti dalle agende urbane.

## Riconoscimenti

Questo contributo è stato finanziato dal Progetto di Ricerca di Rilevanza Nazionale (PRIN) GLOSSA - *GLOcal knowledge System for Sustainability Assessment of urban projects* (CUP E53D23010270006), coordinato da POLITO, Principal Investigator: Francesca Abastante; leader dell'unità di ricerca UNINA: Giuliano Poli; responsabile unità di ricerca UNICA: Francesco Piras. Gli autori desiderano ringraziare tutti i membri del team del progetto GLOSSA che hanno contribuito allo sviluppo del software e fornito spunti per consolidare le scelte metodologiche.

## Contributo degli autori

G.P.: Scrittura - revisione ed editing, Scrittura - bozza originale, Validazione, Metodologia, Concettualizzazione, Cura dei dati, Visualizzazione; in particolare, G.P. ha curato e scritto in collaborazione con i coautori le seguenti sezioni dell'articolo: 1, 2, 4, 5, 5.3, 5.4 e 6. S.C.: Scrittura - revisione ed editing, Scrittura - bozza originale, Cura dei dati, Metodologia, Visualizzazione; in particolare, S.C. si è occupato principalmente e ha scritto in collaborazione con i co-autori le seguenti sezioni dell'articolo: 3, 4, 5.1, 5.2 e 6. D.D.: Scrittura - revisione ed editing, Analisi formale, Sviluppo software. in particolare, D.D. si è occupato principalmente e ha scritto in collaborazione con i coautori le seguenti sezioni di articoli: 4.1 e 6.

## Bibliografia (APA)

- Abastante F. (2023). Limits and perspectives of Neighbourhood Sustainable Assessment Tools (NSATS) in sustainable urban design. *Valori e Valutazioni*, 32, 31–43. <https://doi.org/10.48264/vvsiev-20233204>
- Ackermann F, Eden C (2021) Group Support Systems: Concepts to Practice. In: Kilgour, D.M., Eden, C. (eds) *Handbook of Group Decision and Negotiation*. Springer, Cham. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-49629-6\\_59](https://doi.org/10.1007/978-3-030-49629-6_59)
- Bachmann N., Tripathi S., Brunner M. & Jodlbauer H. (2022). The contribution of data-driven technologies in achieving the sustainable development goals. *Sustainability*, 14(5), 2497. <https://doi.org/10.3390/su14052497>
- Behzadian M., Khanmohammadi Otaghsara S., Yazdani M. & Ignatius J. (2012). A state-of-the-art survey of TOPSIS applications. *Expert Systems with Applications*, 39(17), 13051–13069. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2012.05.056>

- Bottero M., Caprioli C., Cotella G. & Santangelo M. (2019). Sustainable Cities: A Reflection on Potentialities and Limits based on Existing Eco-Districts in Europe. *Sustainability*, 11(20), 5794. <https://doi.org/10.3390/su11205794>
- Bullock J.B. (2019). Artificial intelligence, discretion, and bureaucracy. *The American Review of Public Administration*, 49(7), 751–761. <https://doi.org/10.1177/0275074019856123>
- Busch P.A. & Henriksen H.Z. (2018). Digital discretion: A systematic literature review of ICT and street-level discretion. *Information Polity*, 23(1), 3–28. <https://doi.org/10.3233/ip-170050>
- Camagni R., Capello R. & Nijkamp P. (1998). Towards sustainable city policy: An economy-environment technology nexus. *Ecological Economics*, 24(1), 103–118. [https://doi.org/10.1016/s0921-8009\(97\)00032-3](https://doi.org/10.1016/s0921-8009(97)00032-3)
- Carter L., Yoon V. & Liu D. (2022). Analyzing e-government design science artifacts: A systematic literature review. *International Journal of Information Management*, 62, 102430. <https://doi.org/10.1016/j.ijinfomgt.2021.102430>
- Cerreta M., De Toro P. & Fusco G.L. (2014). Integrated assessment for sustainable choices. *SCIENZE REGIONALI*, 1, 111–141. <https://doi.org/10.3280/scre2014-s01006>
- Charitonidou M. (2022). Urban scale digital twins in data-driven society: Challenging digital universalism in urban planning decision-making. *International Journal of Architectural Computing*, 20(2), 238–253. <https://doi.org/10.1177/14780771211070005>
- Cinelli M., Kadziński M., Gonzalez M. & Słowiński R. (2020). How to support the application of multiple criteria decision analysis? Let us start with a comprehensive taxonomy. *Omega*, 96, 102261. <https://doi.org/10.1016/j.omega.2020.102261>
- Dawodu A., Cheshmehzangi A., Sharifi A. & Oladejo J. (2022). Neighborhood sustainability assessment tools: Research trends and forecast for the built environment. *Sustainable Futures*, 4, 100064. <https://doi.org/10.1016/j.sftr.2022.100064>
- Dizdaroglu D. (2017). The Role of Indicator-Based Sustainability Assessment in Policy and the Decision-Making Process: A Review and Outlook. *Sustainability*, 9, 1018. <https://doi.org/10.3390/su9061018>
- Dörfler V. (2021) Looking Back on a Framework for Thinking About Group Support Systems. In: Kilgour D.M., Eden C. (eds) *Handbook of Group Decision and Negotiation*. Springer, Cham. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-49629-6\\_32](https://doi.org/10.1007/978-3-030-49629-6_32)
- Employment European Committee of the Regions: Commission for Social Policy, Cavallini S., Soldi R., Friedl J. & Volpe M. (2016). Using the quadruple helix approach to accelerate the transfer of research and innovation results to regional growth. European Committee of the Regions.
- Fusco Girard L., Cerreta M. & De Toro P. (2014). Integrated assessment for sustainable choices. *Scienze regionali: Italian Journal of regional Science: 13, supplemento 1, 2014*, 111-141.
- Greco S., Mousseau V., Stefanowski J. & Zopounidis C. (2022). Roman słowiński and his research program: Intelligent decision support systems between operations research and artificial intelligence. In *Multiple Criteria Decision Making* (pp. 1–27). Springer International Publishing. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-96318-7\\_1](https://doi.org/10.1007/978-3-030-96318-7_1)
- Henriksen H.Z. (2017). One step forward and two steps back: E-government policies in practice. In *Public Administration and Information Technology* (pp. 79–97). Springer International Publishing. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-61762-6\\_4](https://doi.org/10.1007/978-3-319-61762-6_4)
- Hwang C.-L. & Yoon K. (1981). Methods for multiple attribute decision making. In *Lecture Notes in Economics and Mathematical Systems* (pp. 58–191). Springer Berlin Heidelberg. [https://doi.org/10.1007/978-3-642-48318-9\\_3](https://doi.org/10.1007/978-3-642-48318-9_3)
- Keenan P.B. & Jankowski P. (2019). Spatial Decision Support Systems: Three decades on. *Decision Support Systems*, 116, 64–76. <https://doi.org/10.1016/j.dss.2018.10.010>
- Kitchin R., Lauriault T.P. & McArdle G. (2015). Knowing and governing cities through urban indicators, city benchmarking and real-time dashboards. *Regional Studies, Regional Science*, 2(1), 6–28. <https://doi.org/10.1080/21681376.2014.983149>
- Kuo Y.-F. & Chen P.-C. (2008). Constructing performance appraisal indicators for mobility of the service industries using Fuzzy Delphi Method. *Expert Systems with Applications*, 35(4), 1930–1939. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2007.08.068>
- Lami I.M., Abastante F., Gaballo M., Mecca B. & Todella E. (2023). Fostering sustainable cities through

- additional SDG11-related indicators. *Valori e Valutazioni*, 32, 45–61. <https://doi.org/10.48264/vvsiev-20233205>
- Lami I.M., Abastante F., Mecca B., Todella E. (2024). Maps and SDG11: A complex but possible relationship. *International Journal of Sustainable Development and Planning*, Vol. 19, No. 4, pp. 1217–1237. <https://doi.org/10.18280/ijstdp.190401>
- Mariénfeldt J. (2024). Does digital government hollow out the essence of street-level bureaucracy? A systematic literature review of how digital tools' foster curtailment, enablement and continuation of street-level decision-making. *Social Policy & Administration*, 58(5), 831–855. <https://doi.org/10.1111/spol.12991>
- Martínez López L., Ishizaka A., Qin J. & Álvarez Carrillo P.A. (2023). Multiple-Criteria Decision-Making sorting method. In *Multi-Criteria Decision-Making Sorting Methods* (pp. 13–49). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/b978-0-32-385231-9.00007-9>
- Mayo M.M. (2016). An Arithmetic-Based Deterministic Centroid Initialization Method for the kMeans Clustering Algorithm. [https://csuepress.columbusstate.edu/theses\\_dissertations/241](https://csuepress.columbusstate.edu/theses_dissertations/241)
- Mecca B., Gaballo M., Todella E. (2023) Measuring and evaluating urban sustainability. *Valori e Valutazioni* 32, pp. 17–29. [https://siev.org/wp-content/uploads/2023/05/03\\_MECCA-ET-AL.pdf](https://siev.org/wp-content/uploads/2023/05/03_MECCA-ET-AL.pdf)
- Meijer A. & Bolívar M.P.R. (2015). Governing the smart city: A review of the literature on smart urban governance. *International Review of Administrative Sciences*, 82(2), 392–408. <https://doi.org/10.1177/0020852314564308>
- Mirani A. (2023). Evaluation of neighbourhood sustainability assessment tools for practicing on an existing neighbourhood in Great Paris. *Building Simulation Conference Proceedings*, 18. <https://doi.org/10.26868/25222708.2023.1572>
- Misra S., Kumar V., Kumar U., Fantasy K. & Akhter M. (2012). Agile software development practices: Evolution, principles, and criticisms. *International Journal of Quality & Reliability Management*, 29(9), 972–980. <https://doi.org/10.1108/02656711211272863>
- Murray T.J., Pipino L.L. & van Gigch J.P. (1985). A pilot study of fuzzy set modification of Delphi\*. *Human Systems Management*, 5(1), 76–80. <https://doi.org/10.3233/hsm-1985-5111>
- Orlikowski W.J. & Iacono C.S. (2001). Research commentary: Desperately seeking the “IT” in IT research—a call to theorizing the IT artifact. *Information Systems Research*, 12(2), 121–134. <https://doi.org/10.1287/isre.12.2.121.9700>
- Padilla-Rivera A., do Carmo B.B.T., Arcese G. & Merveille N. (2021). Social circular economy indicators: Selection through fuzzy delphi method. *Sustainable Production and Consumption*, 26, 101–110. <https://doi.org/10.1016/j.spc.2020.09.015>
- Panosso A. da S., Miron L.I.G., Delsante I. & Tzortzopoulos P. (2023, November 17). Balancing participatory approaches in neighbourhood sustainability assessment. *Simpósio nacional de gestão e engenharia urbana*. <https://doi.org/10.46421/singeurb.v4i00.3608>
- Phillis Y.A., Kouikoglou V.S. & Verdugo C. (2017). Urban sustainability assessment and ranking of cities. *Computers, Environment and Urban Systems*, 64, 254–265. <https://doi.org/10.1016/j.compenvurbsys.2017.03.002>
- Poli G., Cuntò S. & Muccio E. (2024). A data-driven approach to monitor sustainable development transition in Italian regions through SDG 11 indicators. In *Lecture Notes in Computer Science* (pp. 337–355). Springer Nature Switzerland. [https://doi.org/10.1007/978-3-031-65285-1\\_22](https://doi.org/10.1007/978-3-031-65285-1_22)
- Poveda C.A., Lipsett M.G., A Review of Sustainability Assessment and Sustainability/Environmental Rating Systems and Credit Weighting Tools, *Journal of Sustainable Development*, Vol. 4, No. 6, 2011, pp. 36–55. <https://doi.org/10.5539/jsd.v4n6p36>
- Pulgar Rubilar P., Jordán Vidal M.M., Blanco Fernández D., Osorio Ramirez M., Perillán Torres L., Lizana Vial M., Lobos Calquin D., Pardo Fabregat F. & Navarro Pedreño J. (2023). Neighbourhood sustainability assessment tools for sustainable cities and communities, a literature review—new trends for new requirements. *Buildings*, 13(11), 2782. <https://doi.org/10.3390/buildings13112782>
- Rezaei J. (2015). Best-worst multi-criteria decision-making method. *Omega*, 53, 49–57. <https://doi.org/10.1016/j.omega.2014.11.009>
- Roman M. & Fellnhöfer K. (2022). Facilitating the participation of civil society in regional planning: Implementing quadruple helix model in Finnish regions. *Land Use Policy*, 112, 105864.

<https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2021.105864>

- Saaty T.L. (2001). Fundamentals of the analytic hierarchy process. In *Managing Forest Ecosystems* (pp. 15–35). Springer Netherlands. [https://doi.org/10.1007/978-94-015-9799-9\\_2](https://doi.org/10.1007/978-94-015-9799-9_2)
- Simon H.A. (2012). *The new science of management decision: The ford distinguished lectures, V3*.
- Stehle S. & Kitchin R. (2019). Real-time and archival data visualisation techniques in city dashboards. *International Journal of Geographical Information Science*, 34(2), 344–366. <https://doi.org/10.1080/13658816.2019.1594823>
- Victor P., Hanna S. & Kubursi A. (1998). How Strong is Weak Sustainability? In *Economy & Environment* (pp. 195–210). Springer Netherlands. [https://doi.org/10.1007/978-94-017-3188-1\\_12](https://doi.org/10.1007/978-94-017-3188-1_12)
- Zamanidou A., Magliozzi A. & Fokaides P. (2024). From buildings to neighborhoods: Upscaling smartness assessment for enhanced sustainability. 2024 9th International Conference on Smart and Sustainable Technologies (SpliTech), 1–5. <https://doi.org/10.23919/splitech61897.2024.10612353>

