

Assessment of the Weighted Average Cost of Ecological-Environmental Equipments in Urban Transformation Processes

Vanessa Assumma^{1,*}, David Casagrande², Valentina Cosmi², Stefano Stanghellini²

¹ Department of Architecture, University of Bologna, Via del Risorgimento 2, 40136 Bologna, Italy; vanessa.assumma@unibo.it

² Territorio e Mercati Associate Studio (TeM), Via Cesare Battisti 14, 40121 Bologna, Italy. casagrande@territorioemercati.it, cosmi@territorioemercati.it, stanghellini@territorioemercati.it

* corresponding author

Keywords

weighted average cost, bill of quantities, multicriteria analysis, municipal planning, public policies, nature-based solutions

Abstract

The process of renewing urban plans always focuses on incorporating the sustainability paradigm into strategic initiatives to counteract climate change. A regulation aimed at implementing Ecological-Environmental Equipment to compensate and mitigate the environmental impact of direct interventions, such as new construction, redevelopment, regeneration, and repurposing, has been approved by the new Cesena-Montiano Inter-municipal Urban Plan. These are virtuous cases selected by the Municipality as they respond to the site-specific characteristics of the urban context under consideration. To facilitate their implementation, the Regulations require the estimation of the Economic Countervalue (ECV) using the Bill of Quantities (BoQ). To support the weighted assessment of the ECV to be applied to equipment in the scenarios given in the Plan, this work describes the development of an economic evaluation approach that combines the BoQ with the Analytic Hierarchy Process (AHP). A BoQ was created for every design solution to calculate the parametric unit cost. The AHP assesses the importance of the macro-categories (permeable surfaces, water, vegetation, and technology) and sub-categories (specific solutions) in the Regulation Abacus to weight the average unit cost. To determine the aspects' relevance, a survey was given to a group of municipal technicians with various specialities. Then, using the appropriate weights, the average unit cost of the design solutions was compared to the cost of each sub-criterion. The total average unit cost obtained from the sum of the partial costs gives the weighted average unit cost of the ecological and environmental equipments, equal to € 84.99/sqm.

1. Introduction

The new generation of Municipal Urban Plans is even more open to improving ecological and environmental quality and the citizen's well-being. Despite being recent, this evolution is a significant milestone for promoting a positive adaptation of both urban and territorial systems. Their regulatory tools align with international, European and national frameworks and agendas (Foundation, 2013; ISPRA, 2024; UN-Habitat, 2024; UN, 2015) and with the national, regional, and local regulatory framework, such as the Italian one with the Italian National Law

No. 1150/1942¹ and the Legislative Decree No.152/2006². Before the implementation of Emilia-Romagna Regional Law No. 24/2017³, the Emilia-Romagna Region approved a “Strategy for climate change mitigation and adaptation” (2015)⁴. Within this regulatory framework, in 2023 the Municipalities of Cesena and Montiano drew up the Inter-municipal General Urban Plan⁵ (*Piano Urbanistico Generale Intercomunale - PUG*) for a total area of 258.73 Km² with a population of 98,481 inhabitants⁶. The Inter-Municipal PUG’s strategy focuses on the recovery of existing heritage with greater awareness of the value of soil resources, promoting the reuse of urbanised land, halting land consumption and enhancing green infrastructure. Through solutions that may slow down the speed of rainfall runoff, particularly in areas where soil permeability and absorption capacity have been affected, these initiatives seek to reduce the danger of natural disasters that are typical of this territory, such as floods and violent rainfalls. The new PUG took place in 2023 including some features of Cesena’s PUG into its inter-municipal strategy: in 2019, Cesena adopted the Energy Sustainability Action Plan⁷ (*Piano di azione per la sostenibilità energetica - PAESC*), in 2020 the Municipality joined the Green City Accord⁸, and in 2021 it signed the Charter of Cities towards Climate Neutrality^{7bis}.

Three months prior to a devastating flood in May of the same year, the Inter-municipal PUG took place in February, which made the two Municipalities more conscious of the necessity to prioritise certain urban planning decisions to prevent and mitigate the catastrophic consequences both during and after dangerous events. The Plan defined guidelines for calculating both the economic and ecological-ecosystemic value of definite solutions.

The monetisation rules defined by old art. 24 of the Implementation Rules (*Norme di Attuazione, NdA*) of Regulation No. 278/2008 of the Cesena’s PUG approved the criteria and adjustment of unit values for the monetisation of areas to be used for public parking and public green spaces, equal to € 142/sqm and € 41/sqm, respectively. With the new Cesena-Montiano PUG, monetisation is currently regulated by art. 5.5.3 of the New Regulation for the implementation and evaluation of multi-performance ecological and environmental equipments and environmental compensation⁹ (DCC No. 21 of 18/04/2024), defining the unit cost of territorial equipments as € 92/sqm. This work, as result of a professional consultancy with the Municipality, aims to determine a weighted average unit cost of Ecological and Environmental Equipments (Dotazioni Ecologico-Ambientali - DEAm) of the Cesena-Montiano Intermunicipal Plan.

On the one hand, the Regulation’s primary economic-financial tool for estimating the Economic Countervalue (CVE), the Bill of Quantities (BoQ) (RICS, 2021) is integrated with a ranking-type Multicriteria Analysis (MCA), the Analytic Hierarchy Process (AHP) (R. W. Saaty, 1987). On the other hand, the gap in thematic price lists for environmental and ecological equipments is bridged by a “policy-ready” ECV value, that may be used promptly in preliminary procedures.

From municipal technicians to independent contractors in the macro-area of civil engineering-architecture and urban and regional planning, this integrated evaluation approach

¹ INUP No. 1150/1942 – Italian National Urban Planning Law <https://www.normattiva.it/>

² Italian Legislative Decree No. 152/2006 – Environmental Code <https://www.normattiva.it/>

³ Regional Urban Planning Law of Emilia-Romagna no. 24/2017 “Regional regulations on land protection and use” which replaces the Regional Law no. 20/2000 – “Regional regulations on land protection and use” <https://demetra.regione.emilia-romagna.it/>

⁴ Emilia-Romagna Region (2015). Strategy for climate change mitigation and adaptation. <https://ambiente.regione.emilia-romagna.it/>

⁵ PUG – *Piano Urbanistico Generale* of Cesena and Montiano Municipalities. <https://sititematici.comune.cesena.fc.it/>

⁶ Demo ISTAT (2025) – Demographic balance per month. <https://demo.istat.it/app/?a=2025&i=D7B>

⁷ PAESC – *Piano d’Azione per l’Energia Sostenibile e il Clima del Comune di Cesena*. Protocol to CC Resolution no. 13/2019 <https://www.comune.cesena.fc.it/>

^{7bis} Green City Network (2021). City Charter for Climate Neutrality. <https://www.greencitynetwork.it/>

⁸ Green City Accord – Clean and Healthy Cities in Europe. <https://environment.ec.europa.eu/>, <https://www.comune.cesena.fc.it/>

⁹ Comune di Cesena (2024). *Regolamento per la realizzazione e valutazione delle Dotazioni territoriali multiprestazionali e Ecologico Ambientali e delle Compensazioni Ambientali*. Protocol approved by City Council Resolution no. 21 del 18-04-2024. <https://www.comune.cesena.fc.it/>

is meant to be professionally beneficial, straightforward, and replicable for a range of professional figures (Figure 1).

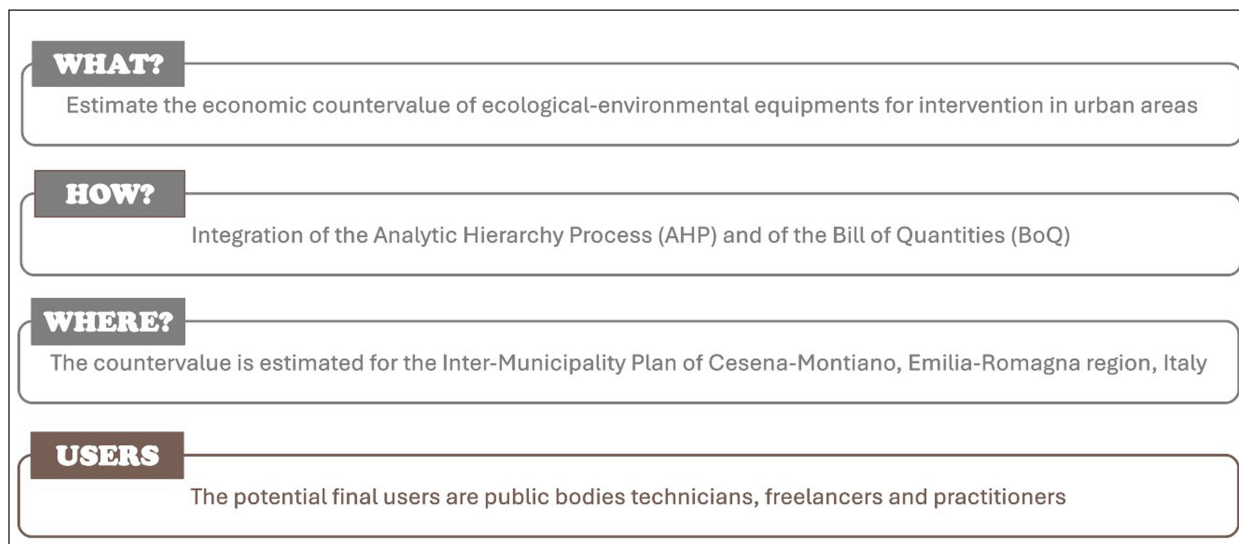


Figure 1. Framing of the evaluation problem.

2. Ecological and Economic Equipments of the Inter-municipal PUG of Cesena-Montiano

Ecological and environmental equipments (Dotazioni Ecologico-Ambientali - DEAm) are defined by art. 5.5.3 of the PUG Regulations as “The set of spaces, works and interventions that, together with the infrastructure for the urbanisation of settlements, contribute to combating climate change”.

Their structural meaning was derived from recent publications detailing strategies and actions for climate change adaptation at both European and national levels, including the Global Standard for Nature-Based Solutions¹⁰ (2020), the Handbook for Practitioners¹¹ (2021), the Italian MASE Guidelines for Green Management¹² (2017). Additionally, the SOS4LIFE project guidelines for enhancing climate change resilience in urban regeneration initiatives¹³ (2020), Regenerating the city with nature¹⁴ (2017) along with various platforms such as Urban Nature Atlas¹⁵, OPPLA¹⁶, ThinkNature¹⁷ and Smart Cities Marketplace¹⁸ enable users to examine and assess the relevance of these strategies and actions within urban contexts. The SBAM course - School of Bioclimatic Design for Adaptation and Mitigation¹⁹ (2023) is an initiative established by ANCI Emilia-Romagna

¹⁰ IUCN (2020). Global Standard for Nature-based Solutions. A user-friendly framework for the verification, design and scaling up of NbS. First edition. Gland, Switzerland: IUCN. ISBN 978-2-8317-2058-6, DOI: 10.2305/IUCN.CH.2020.08.en

¹¹ UN - United Nations (2021). Evaluating the impact of nature-based solutions. A handbook for practitioners. <https://op.europa.eu/>

¹² MASE - Ministry of the Environment, Land, and Sea. Committee for the Development of Public Green Spaces (2017). Guidelines for managing urban greenery and initial indications for sustainable planning. <https://www.mase.gov.it/>

¹³ Emilia-Romagna Region (2020). SOS4LIFE Project - *Liberare il suolo - Linee guida per migliorare la resilienza dei cambiamenti climatici*. <https://territorio.regione.emilia-romagna.it/>

¹⁴ Emilia-Romagna Region (2017) in collaboration with Politecnico di Milano. REBUS Project - *Rigenerare la città con la natura - Strumenti per la progettazione degli spazi pubblici tra mitigazione e adattamento ai cambiamenti climatici*. Maggiorli Editore. <https://territorio.regione.emilia-romagna.it/>

¹⁵ NATURANCE Project. Urban Nature Atlas. <https://una.city/>

¹⁶ OPPLA Project. Global knowledge platform. <https://oppla.eu/>

¹⁷ ThinkNature Project. <https://cordis.europa.eu/project/id/730338>

¹⁸ Smart Cities Marketplace. <https://smart-cities-marketplace.ec.europa.eu/>

¹⁹ ANCI Emilia-Romagna. SBAM! Bioclimatic Design School for Adaptation and Mitigation. <https://www.anci.emilia-romagna.it/formazione/sbam-scuola-di-progettazione-bioclimatica-per-ladattamento-e-la-mitigazione-2-edizione/>

Association and the Agency for Energy and Sustainable Development (AESS) to assist municipalities in executing nature-based strategies and actions that enhance: (i) microclimate, (ii) quality of urban green spaces; (iii) rainwater management, (iv) permeable materials, and (v) integrated infrastructure for systemic mobility.

To comprehend the operational efficacy of DEAm, a primary challenge in the design and implementation of Nature-Based Solutions (NBS) (Moosavi, 2022), the PUG Regulation provides an Abacus of DEAm equipments. It collects several virtuous projects from the international scene that the Municipality deems suitable for the territorial features of Cesena-Montiano. Four macro-categories are used to classify the solutions: (1) “permeable surfaces”, which are further subdivided into “continuous permeable surfaces” (e.g. porous paving) and “modular permeable surfaces” (e.g. gravel and/or grass grids). These encourage water infiltration into the subsoil and help reduce the heat island effect, as well as retaining pollutants (e.g. oil, or heavy metals); (2) “water” refers to drainage systems that improve water quality and black and grey water pressure while reducing the speed of rainwater runoff, and to “evaporative cooling systems” designed to improve urban liveability during heat waves by passively cooling the air through water evaporation; (3) “vegetation” refers to lawns, trees and green roofs. Through shade and evapotranspiration in the architectural and urban context, these help improve building’s energy performance, cut CO₂ emissions and lower temperatures. Additionally, they encourage the development of microhabitats which are necessary to produce urban ecosystem services (e.g. pollination). To enhance the quality of outdoor public spaces and promote soft and sustainable mobility, (4) “integrated technologies” include features like street furniture (e.g. benches with built-in planters) and transportation infrastructure support services (e.g. bicycle repair stations) that are implemented with low environmental impact materials.

For every solution, the Abacus provides design sections and layouts (Figure 2). Please refer to DCC Regulation No. 21/2024 of the Cesena-Montiano PUG for more information about the features of each specific DEAm.



Figure 2. Classification of the DEAm equipments (Authors' elaboration from DCC No.21/2024).

The Regulation establishes that DEAm must be allocated to “direct” interventions, referring to new construction, redevelopment, regeneration and repurposing. Direct interventions fall into one of the three categories under the Regulation: (i) within the intervention area; (ii) in the immediate vicinity of the intervention area; (iii) in locations that PUG have already been defined and ascertained the lack of public green spaces and/or public parking lots.

2.1 Monetisation rules and the estimation of Economic Countervalue

In addition to the average unit cost of public green spaces (€ 41/sqm) and public parking lots (€ 142/sqm), the new monetisation rules, which are governed by art. 5.5.3 of the New Regulation for the implementation and assessment of multi-performance ecological and environmental equipment and environmental compensation (DCC No. 21 of 18/04/2024), assign an average unit cost of ecological and environmental equipments (DEAm) of € 92/sqm. Since the PUG already determines the quantities based on both use with the equipments tables and the type of intervention, the Regulation establishes the value of DEAm on a municipal basis so that each direct intervention can contribute equally to the public city. Based on the “building potential”, which is defined in the PUG as the maximum footprint and area for equipment, the numbers differ depending on the urban fabric. In certain local circumstances, a weighted average cost per urban fabric might be lowered, but this would lead to disparities between neighbourhoods with comparable values but varied urban quality, which would deter redevelopment in more marginalised places. For instance, compared to a central neighbourhood with lots of green space and high property values, a residential project in a neighbourhood with poor DEAm services and low property values can contribute more to DEAm.

In order to properly assist the implementation of DEAm, the Regulation requires experts to estimate an economic countervalue (ECV) in the three scenarios mentioned above (Eq. 1).

$$ECV = OE \text{ (in sqm)} \cdot BV(\text{€/sqm}) \quad (1)$$

where (i) OE indicates the surface area in square metres of other equipments, which correspond to DEAm and those that require the payment of a contribution for Social Housing, (ii) BV refers to the base monetary economic value per unit of surface area of the individual equipment.

Furthermore, the Bill of Quantities (BoQ) is indicated by the Regulations as the main economic assessment tool for determining the ECV value.

3. Methodology

3.1 Bill of Quantities

Determining the technical and financial feasibility of an intervention is crucial in a transformation process in order to guarantee the operation’s success for the promoter throughout all stages, minimising at the same time the risk of financial investment exposure.

In order to choose the most satisfactory project in terms of economic and financial social, and environmental terms for the improvement of urban quality of life, the technical and economic feasibility assessment’s outcome finds itself on alternative project scenarios, including the zero option.

The IUCN (IUCN, 2020) highlighted the need to assess the economic and financial feasibility of nature-based projects in light of technical aspects and the architectural and urban setting as well. The best standardised method for figuring out the average cost of performing a nature-based project is a parametric cost. However, real world experience demonstrates that the description of the project and related studies are insufficient to tailor the parametric approach to the

specificities of the context (Le Coent et al., 2021). There are few studies today that use analytical assessment methods that integrate ad hoc pricing lists for the reference context, technical features and details on the project's development phases (Sikorska, Macegoniuk, Łaskiewicz, & Sikorski, 2020).

According to a recent review of the state of the art on specific tools for estimating costs throughout the life cycle of NBS (Datola, Ghisoni, Dell'ovo, & Oppio, 2025, and the references therein) the Work Breakdown Structure (WBS) is a valuable tool for the design and management of all project components associated with their respective implementation costs throughout the life cycle, including maintenance and end-of-life costs.

In this way, one of the main factors influencing the feasibility range is the overall cost of the project. The potential revenue or advantages decrease with increasing costs. Revenues or benefits increase with decreasing costs. For clarity, three examples are given below:

- Case 1: The project is just in its early stages. The valuer may use a parametric cost estimate, also known as a functional estimate, identifying at least one project with similar characteristics and quantities, adapting its costs to the quantities of the project to be estimated using a set of correction coefficients;
- Case 2: The project is definitive. The valuer may use a mixed cost estimate, both parametric and analytical, to compensate for certain items that may be subject to change and/or replacement;
- Case 3: This is an executive project. The evaluator may employ an analytical cost estimate, through the BoQ, measuring the detailed quantities and processes of the project for the respective costs. At this stage of the design process, it is recommended to create a Work Breakdown Structure (WBS) (Globerson, 1994) to divide the project into more manageable components, from costs directly attributable to the construction of the work (e.g. demolition, foundations, etc.) to site costs (e.g. scaffolding, vehicle hire, etc.) and safety costs. A thorough cost estimate will reduce the client's financial risk. It is always advisable to double-check the calculations and include an item in the BoQ for unexpected events that might happen during site preparation. An unforeseen demolition might significantly impact on the investment made and cost value.

It should be noted that only two levels of project design were specified in the most recent update to the Italian Public Contracts Code²⁰, specifically in the section titled "Planning and Design": the "Technical-Economic Feasibility Plan" (TEFP) and the "Executive Plan" (EP), where the level of detail of the estimate ranges from cost analysis and the economic framework to the BoQ. The most economically advantageous tender, with the option to use the largest discount criterion, is the most crucial criterion for awarding public contracts. Keeping within the tender's budget is crucial. The following is a summary of the BoQ's methodological steps:

1. Framing of the decision-making and design context (public, private or public-private), the client's and stakeholders' needs, and verification of the economic and financial conditions for the investment for a type of intervention (e.g. routine or extraordinary maintenance);
2. Development of the metric calculation, which can be divided into three sub-phases:
 - Breakdown of the project into basic, homogeneous parts, using, for example, the Work Breakdown Structure (WBS);

²⁰ Public Contracts Code - Italian Legislative Decree No. 36/2023, updated by Legislative Decree No. 209/2024 - Supplementary and corrective provisions to the Public Contracts Code, pursuant to Legislative Decree No. 36 of March 31, 2023 (24G00231), subsequently updated by the 2025 Corrective (Legislative Decree 205/2024) up to the Infrastructure Decree (Legislative Decree 73/2025 and subsequent amendments) <https://www.normattiva.it/>

- Determining measurement criteria: measurement can be further facilitated by the adoption of a precise classification system, either product-based or technology-based. While technology criteria adhere to UNI and ISO standards (such as ISO12006-2 “Building construction – Framework for classification,” ISO12006-3 “Building construction – Framework for object-oriented information,” and UNI 8290-2:1983 “Residential construction”), regional price lists in the field of public contracts in Italy are defined based on product criteria using the WBS. system of technology. requirements analysis), which have produced classifications like OMNICLASS for BIM modelling and support across the course of the whole production cycle;
 - Measurement and description of quantities: this phase is closely dependent on the design phase and the level of experience of the designer/evaluator, as it can initially be carried out in broad terms to give the client an order of magnitude of the costs to be incurred, or in an analytical and precise manner.
3. Determining unit prices: the items in the price list that represent the quantities and work involved in the project are entered in the Price List and linked to the BoQ. The Price List and the BoQ are two documents that must be presented together. The Price List is for information purposes and contains the unit prices used to develop the BoQ. In general, unit prices can be found in price lists (e.g. regional, municipal), typological lists (e.g. DEI del Genio Civile, Chamber of Commerce) and price analyses based on suppliers’ estimates. In the public sector, it is essential to follow the instructions in the tender, such as which regional price list for public works to use for estimating the cost of the project.
 4. Calculating partial costs and total project cost: once the BoQ is finished with the quantities and unit prices of all the work, it is possible to add up the work within each level of the WBS to obtain the partial costs, which will then be added together to determine the total cost of the project (Eq. 2):

$$C_{tot} = \sum Q_i \cdot Pu_i \quad (2)$$

where (i) C_{tot} is the total cost of the equipment; (ii) Q_i is the quantity of the i-th material or work, and (iii) Pu_i is the unit cost of the quantity of the i-th material or work.

3.2 Multicriteria Analysis (MCA)

The Multicriteria Analysis (MCA) family includes many evaluation techniques, the selection of which is solely dependent on the type of the decision-making problem to be solved (Greco, Ehrgott, & José Rui Figueira, 2016; Oppio, Bottero, & Arcidiacono, 2018). These techniques include: (i) ranking to order alternative solutions from most relevant to least relevant; (ii) sorting to assign a high number of alternatives to predefined and ordered classes; (iii) choice to evaluate one or a selection of alternatives considered the best; (iv) description based on the description of the characteristics of each alternative. One of the most known and frequently used techniques in both scientific and technical-professional domains is the Analytic Hierarchy Process (AHP).

3.2.1 Analytic Hierarchy Process (AHP)

AHP is a ranking-type MCA technique developed by American mathematician T. Saaty in the field of strategic sciences (T. L. Saaty, 1977). Thanks to the increasing awareness towards environmental issues such as the growth limits and resources scarcity (Rovers, 2019) AHP was used in the past and it is still used today to address issues frequently associated with sustainable transformation of cities and territories.

For example, (Hamurcu & Eren, 2020) and subsequently (Silva, Santos, & Setti, 2022) applied AHP to weigh the criteria for measuring sustainable mobility and subsequently integrate the

results into TOPSIS to continue with the prioritisation of urban mobility projects; (Awad & Jung, 2022) conducted a study to assign weights to planning elements for sustainable urban regeneration. The same authors subsequently conducted a survey (Jung & Awad, 2023), the data from which was processed using AHP to support the implementation of an urban plan. (Singh & Marwaha, 2025) used AHP to identify key factors that hinder sustainable living and, specifically, housing policies that favour workers. (Yaralioglu & Kara, 2024) applied AHP to prioritise SDG 11 parameters for the design of sustainable public spaces.

It is possible to identify AHP as the best method for improving the economic and strategic evaluation of the plan, program, or project, even though these scientific references only cover a small time period. This is because stakeholders are involved in the weighting process, which ensures transparency, and the evaluation process itself is robust both internally and externally. AHP makes it possible to deconstruct an issue into a hierarchy with a single goal and a small number of criteria, sub-criteria, and alternatives connected from top to bottom. The experts involved in the decision-making process can express their preferences by using AHP to evaluate the importance of pairs of elements in a hierarchical manner.

A range of alternative possibilities, such as the zero option—maintaining the same present conditions and costs—must be included in the assessment. Co-designing the alternative scenarios with stakeholders is advised to guarantee AHP's success and allow everyone to voice their preferences. In order to facilitate citizen participation in the co-planning and co-design of solutions, scenario building and storytelling techniques are increasingly being combined and enhanced by Virtual Reality (VR) systems (Amer, Daim, & Jetter, 2013; Apollonio, Fallavollita, Foschi, & Smurra, 2024; Godet, 2000). The problem decomposition capability of the Work Breakdown Structure (WBS) (Cicala, 2020) used in project management and integrated with BoQ is the same, but only AHP extends beyond hierarchization to the evaluation's core:

- Building a performance matrix using the values expressed by each sub-criteria;
- Normalisation is necessary to compare each element's value on a dimensionless scale into the range [0-1]. According to a number of research on the effects of normalisation approaches, some—specifically, linear normalisation (maximum & maximum-minimum & sum), ii) vector normalisation, iii) logarithmic normalisation are considered better than others for classifying alternatives on the benefit or cost axis. For additional details, see (Çelen, 2014; Vafaei, Ribeiro, & Camarinha-Matos, 2016).

$$AW = \lambda^{max}W \quad (3)$$

where (i) A is the square matrix in which are imported the values of the model's elements, (ii) W is the eigenvector present in the same matrix, and (iii) λ^{max} is the maximum eigenvector corresponding to that determine the relevance with respect to the other model's elements;

- Weighting the hierarchy's elements in order to elicit the experts preferences and for the subsequent synthesis of results. It is crucial to involve a multidisciplinary panel of experts in a survey (e.g., interview, questionnaire, or focus group). Respondents must use one of the Saaty Scale's values to indicate the degree of intensity and their choice for each question, adhering to the pairwise comparison of elements principle. For more information on the scale values (R. W. Saaty, 1987). Weighting occurs i) at the level of criteria in relation to the goal; ii) at the level of sub-criteria in relation to the criterion to which they belong; iii) at the level of alternatives with respect to sub-criteria and vice versa. Finally, the numerical values established by the individual experts will form a square matrix for pairwise comparison of the elements, for each level of the hierarchy. The matrices must have a Consistency Ratio $\leq 10\%$, to guarantee consistent evaluations (Eq.4) since the respondents operate under conditions of constrained rationality. Otherwise, the judgement's consistency needs to be improved by reviewing each element's relative (Brunelli, 2018). When experts disagree in their opinions during a focus group,

they must defend their positions while attempting to come to a consensus, such as by employing the democratic average. Other weighting techniques, like SWING, the Deck-Cards Method by Simos, Figueira, and Roy (DCM-SRF), or Simple Multi-Attribute Rating Extended to Ranking (SMARTER) and their corresponding extensions, do, however, support ranking-type MCA (Corrente, Figueira, & Greco, 2021; Greco et al., 2016; Mustajoki, Hämäläinen, & Salo, 2005).

$$CI = \frac{\lambda^{max} - n}{n - 1}, \quad CR = \frac{CI}{RI} \leq 0 \quad (4)$$

where (i) CI is the consistency index (ii) λ^{max} is the maximum eigenvector of the pairwise comparison matrix; (iii) n is the dimension of the same matrix, (iv) RI is a random index calculates as mean value of CI by considering many random matrices .

- Weighted aggregation (Eq. 5) of the normalised values of the sub-criteria with the weights given by the experts in relation to the parent criterion, followed by the subsequent aggregation of the resulting partial indices obtained multiplied by the criteria weights with reference to the goal.

$$\lambda^{max} = \sum_{i=1}^n \left(\sum_{j=1}^n r_{ij} \right) w_{ij} \quad (5)$$

where (i) r_{ij} refers to the value of the i -th criterion versus the j -th criteria and (ii) w_{ij} is the relevance of the i -th criterion versus the j -th criteria.

- Synthesis of the overall results aggregated in a final ranking will give the weight of each alternative. To further minimise inconsistencies in the assessments, if multiple experts are involved in the evaluation, the results must be aggregated into an overall AHP using the arithmetic mean or geometric mean of the collection of weights (Aguarón, Escobar, & Moreno-Jiménez, 2021);
- Sensitivity analysis, which is helpful in verifying the outcomes of deterministic methods (such as “One-at-a-Time” or “What... If...”). Finding possible differences in the final ranking of options and determining the most important criteria can be accomplished by maximising the significance of one criterion at a time while reducing the other criteria (Brunelli & Cavallo, 2020) or the potential implications for different scenarios (Carvalho & Belo, 2020). The evaluator can use decision-making software to support AHP calculations, including ExpertChoice or Superdecisions²¹.

4. Application

4.1 Elaboration of BoQ

The climate adaptation design options included in the Cesena PUG Regulation Table were first examined in order to ascertain the Economic Countervalue (ECV) to be applied for environmental and ecological equipment (DEAm) in the situations specified by the urban planning instrument. To facilitate comparison, a Bill of Quantities (BoQ) was created for each design solution, and the parametric cost, represented in surface area units, was determined.

The Abacus offers a building section with material specs and thickness or depth indicators for each solution. For every suggested option, the metric calculation of a characteristic unit (1 sqm) was created. This approach is valid, for example, for interventions involving surfaces, such as 1 sqm of flowered lawn or 1 sqm of draining paving.

²¹ Software ExpertChoice <https://www.expertchoice.com/>
Software SuperDecisions – Creative Decisions Foundation <https://www.superdecisions.com/>

The quantity calculation considers the complexity of the work required to finish a unit of the project, such as a drainage well capable of collecting a specific number of cubic meters of water or a linear metre of tree-lined avenue, if the design solution presented in the Abacus requires further development and it is not possible to define a cost per square metre at the outset. The CME returns the overall cost once the quantities have been calculated and the reference unit costs have been applied. After that, the whole cost is made parametric in relation to the reference surface area.

The Land Management Department has confirmed the reference areas. The technical requirements of the Municipality of Cesena’s “Regulations for the construction of urbanisation works and related transfer” have been cited in design solutions where the reference area cannot be explicitly recognised due to the project’s complexity. Bicycle racks are one example of this. The minimum area of 500 square meters in which their placement must be accommodated was mentioned in the absence of a design.

A precise quantification was performed using an appropriate scale ratio when the typological sections displayed in the Abaco did not specify the dimensions of the elements to be estimated.

All metric calculations taken into account safety costs, quantified at 5% of the production cost.

The preparation of a CME requires the application of unit costs to the quantities of works/processing present. For each work/processing, the quantities and parametric costs are expressed in the characteristic unit of measurement (e.g. euro/sqm, euro/cu m, etc.).

The main source of information used is the Regional List of Public Works Prices by the Emilia-Romagna Region²². With Council Resolution no. 2342 of 23 December 2024²³, in agreement with the Interregional Superintendency for Public Works of Lombardy and Emilia-Romagna, the new edition of the price list was approved, effective from January 1st, 2025.

For some works not included in the Emilia-Romagna price list, the price list of the Autonomous Province of Bolzano²⁴ was used, as it is the most comprehensive reference in Italy for the types of works in question.

Secondarily, due to the specific nature of some design solutions, reference was made to CME public works and official price lists of products available on the market.

Regarding these information sources, an example is given in the shape of pollinator modules designed to create flower beds that draw insects, birds, reptiles, and small mammals—all of which are beneficial for boosting biodiversity in gardens and parks (Table 1.a). An average cost calculated from the pricing of different models found on a manufacturer’s website was used to estimate the supply of beehives. Regarding the cost of planting pollinator-attracting plants, the projected metric calculation of a bee biopark project was used to calculate the average cost of a sufficient variety of plant species (Table 1.b).

Table 1a. Metric calculation of natural flower beds for pollinators

ID	Work item	Width	Length	Depth/ Height	Surface	Volume	U.M.	Quantity	Total
		m	m	m	m ²	m ³			
C01.001.005.a	Excavation bulk	1.00	1.00	0.35	1.00	0.35	m ³ .	1.00	0.35
C01.010.005.a	Material transport to landfill	1.00	1.00	0.35	1.00	0.35	m ³ /km	1.00	0.35
C04.109.085	Topsoil	1.00	1.00	0.30	1.00	0.30	m ³	1.00	0.30
Estimate	Aromatic and medicinal plants for bees						each	15.00	15.00

²² Emilia-Romagna Region (2025). Regional price list of public works. <https://territorio.regione.emilia-romagna.it/notizie/attualita/2025/pubblicato-elenco-regionale-dei-prezzi-delle-opere-pubbliche-2025>

²³ Emilia-Romagna Region (2024). Delibera della Giunta regionale n. 2342 del 23/12/2024 https://servizi.ssiir.regione.emilia-romagna.it/deliberegiunta/servlet/AdapterHTTP?action_name=ACTIONRICERCADELIBERE&operation=leggi&cod_protocollo=GPG/2024/2468&ENTE=1

²⁴ Province of Bolzano (2024). Provincial price list of works 2024, approved by Provincial Council Resolution no. 1157 of 29/11/2023, subsequently updated by Resolution no. 38 of 9 February 2024. <https://prezzario.provincia.bz.it/2024>

Table 1b. Metric calculation of natural flower beds for pollinators

ID	Work item	U.M.	Quantity	Unit price	Total
			no.	€/u.m.	€
C01.001.005.a	Excavation bulk	m ³	0.35	5.36	1.88
C01.010.005.a	Material transport to landfill	m ³ /km	0.35	1.03	0.36
C04.109.085	Topsoil	m ³	0.30	7.48	2.24
Estimate	Aromatic and medicinal plants for bees	each	15.00	8.53	127.90
Total work (supply and installation)		€			132.38
Safety cost		%	5.00%	132.38	6.62
Total construction cost		€			139.00
Quantity		m ²	1.00		
Unit cost		€/m ²			139.00

When it was not possible to find the cost items necessary to quantify specific processes in the regional price list due to their excessive specialisation, it was necessary to proceed with price analysis.

This approach made it possible to define the cost of the processes in detail. The cost was determined based on the average supply cost, extrapolated from the official price lists published on the manufacturers' websites. The cost of installation was added to the cost of supply, estimated taking into account both the hours normally required to carry out the work and the average hourly labour cost. Since the analyses relate to the supply and installation of simple elements, it was decided not to consider increases for hire and transport of specific equipment.

The calculated cost of supply and installation was increased by overheads and company profit, the latter also calculated on overheads. The incidence of overheads and company profit is derived from the Emilia-Romagna Region's construction price list, which provides for a 16% overheads allowance and a 10% company profit. The application of the two percentages results in an overall increase of 27.6%.

The unit prices thus obtained were then included in the metric calculations and applied to the expected quantities.

The minimum, maximum and average costs are then identified for each sub-category (Table 3). The average cost calculated in this way will be used to apply the estimated incidence for each category using the Analytic Hierarchy Process (AHP) referred to in paragraph 4.2 below (Table 4).

Table 2. DEAM - Ecological and Environmental Equipments. Average unit costs of design solutions

Criteria	Sub-criteria	ID	Design solutions		Unit cost €/m ²	
Permeable Surfaces	Continuous permeable surfaces	1.1.1	Stabilised soil	Natural draining paving	21.24	
		1.1.2	Gravel	Natural filtering surface	26.48	
		1.1.3	Calcestre	Compact draining surface	40.92	
		1.1.4	Draining concrete	Resistant surface with high hydraulic conductivity	30.12	
		1.1.5	Draining asphalt	Reduces slippage on the road surface and increases safety	55.28	
		1.1.6	Safety rubber	Surface with high impact absorption quality	102.26	
	Modular permeable surfaces	1.2.1	Grass-covered gratings	High mechanical resistance while preserving permeability	25.88	
		1.2.2	Blocks with joints	Combining the need for qualified surfaces with water conveyance	33.42	
		1.2.3	Porous blocks	Providing filtering surfaces while limiting runoff	33.26	
		1.2.4	Wooden path	Creating paths with high ecological value using dry laying	113.81	
	Vegetation	Grasses	2.1.1	Lawn with high	Stress-resistant lawn	6.20
			2.1.2	Flowering lawn	Natural lawn	8.65
2.1.3			Natural flower beds for pollinators	Flower beds with aromatic and medicinal plants that attract pollinators	139.00	
Trees		2.2.1	Urban forestry	Improve water absorption, provide shade, prevent erosion	57.18	
		2.2.2	Tree-lined avenue	Create shade, mitigate temperatures	44.77	
Green infrastructure		2.3.1	Green roof	Hanging greenery (structure not included)	108.30	
		2.3.2	Green wall	Vertical greenery (to be applied to existing walls)	252.19	
Water		Drainage system	3.1.1	Rain garden	Rainwater management system	85.65
			3.1.2	Infiltration well	Rainwater drainage system	49.75
	3.1.3		Infiltration trench	Rainwater drainage system	120.38	
	3.1.4		Floodable ditch	Rainwater drainage, laminar flow and filtration system	100.40	
	3.1.5		Rock garden	Soil depaving	63.79	
	3.1.6		Wet garden	Rainwater purification, infiltration and retention system	120.76	
	3.1.7		Floodable basin	Rainwater management system	121.28	

Follow Table 2. DEAM - Ecological and Environmental Equipments. Average unit costs of design solutions

Criteria	Sub-criteria	ID	Design solutions		Unit cost €/m ²
Water	Cooling evaporation	3.2.1	Water blades	Cooling and mitigation	1.409,32
		3.2.2	Nebulizers	Cooling	27.37
Integrated	Urban furnitures	4.1.1	Eco-compactors	Eco-compactor bins	21.44
		4.1.2	Shading systems (10 m ² pergola)	Creating cool, shaded urban paths and spaces	9.42
Technologies		4.1.3	Seating with planters	Benches	29.82
		4.1.4	Beehives	Modules for pollinators	3.75
		4.1.5	Cisterns (26 m ³)	Collecting rainwater	59.26
		4.2.1	E-bike charging stations	Bicycle refuelling station	2.74
			4.2.2	Bike racks with shelters	Promoting accessibility and cycling
		Mobility infrastructure			

Table 3. DEAM Equipments. Minimum, average and maximum unit costs for each sub-category

Criteria	Sub-criteria	ID	Design solutions	Min €/m ²	Mean €/m ²	Max €/m ²
Permeable Surfaces	Continuous permeable surfaces	1.1.1	Stabilised soil	21.24	46.05	102.26
		1.1.2	Gravel			
		1.1.3	Calcestre			
		1.1.4	Draining concrete			
		1.1.5	Draining asphalt			
		1.1.6	Safety rubber			
	Modular permeable surfaces	1.2.1	Grass-covered gratings	25.88	51.59	113.81
		1.2.2	Blocks with joints			
		1.2.3	Porous blocks			
		1.2.4	Wooden path			
Vegetation	Grasses	2.1.1	Lawn with high treading	6.20	51.28	139.00
		2.1.2	Flowering lawn			
		2.1.3	Natural flower beds for pollinators			
	Trees	2.2.1	Urban forestry	44.77	50.98	57.18
		2.2.2	Tree-lined avenue			
	Green infrastructure	2.3.1	Green roof	108.30	180.25	252.19
		2.3.2	Green wall			

Follow Table 3. DEAM Equipments. Minimum, average and maximum unit costs for each sub-category

Criteria	Sub-criteria	ID	Design solutions	Min €/m ²	Mean €/m ²	Max €/m ²
Water	Drainage system	3.1.1	Rain garden	49.75	94.57	121.28
		3.1.2	Infiltration well			
		3.1.3	Infiltration trench			
		3.1.4	Floodable ditch			
		3.1.5	Rock garden			
		3.1.6	Wet garden			
		3.1.7	Floodable basin			
	Cooling evaporation	3.2.1	Water blades	27.37	718.35	1.409,32
		3.2.2	Nebulizers			
	Integrated Technologies	Urban furnitures	4.1.1	Eco-compactors	3.75	24.73
4.1.2			Shading systems (10 m ² pergola)			
4.1.3			Seating with planters			
4.1.4			Beehives			
4.1.5			Cisterns (26 m ³)			
Mobility infrastructure		4.2.1	E-bike charging stations	2.74	5.65	8.56
		4.2.2	Bike racks with shelters			

4.2 Elaboration of AHP

To enable future urban transformation interventions, the Analytic Hierarchy Process (AHP) aims to determine the most pertinent categories of materials and solutions found in the DEAM Abacus.

Superdecisions software was used to structure the decision-making problem utilising the AHP. The decision tree is organised as follows: the primary goal (see above) is connected to the four primary DEAM categories categorised by the Abacus (criteria), which are connected to the corresponding kinds of materials/solutions (sub-criteria). Since the goal of this evaluation is to ascertain the significance of the categories and types of DEAM materials/solutions, the degree of alternatives was not considered (Figure 3).

Table 4. Structure of the decision tree (based on the DEAM Regulation Abacus)

DEAM Macro-categories (AHP Criteria)	DEAM Sub-categories: Materials and Solutions (AHP Sub-criteria)
Permeable Surfaces	Continuous permeable surfaces Modular permeable surfaces
Vegetation	Grasses Trees Green infrastructure
Water	Drainage system Cooling system
Technologies	Urban furnitures Mobility infrastructure

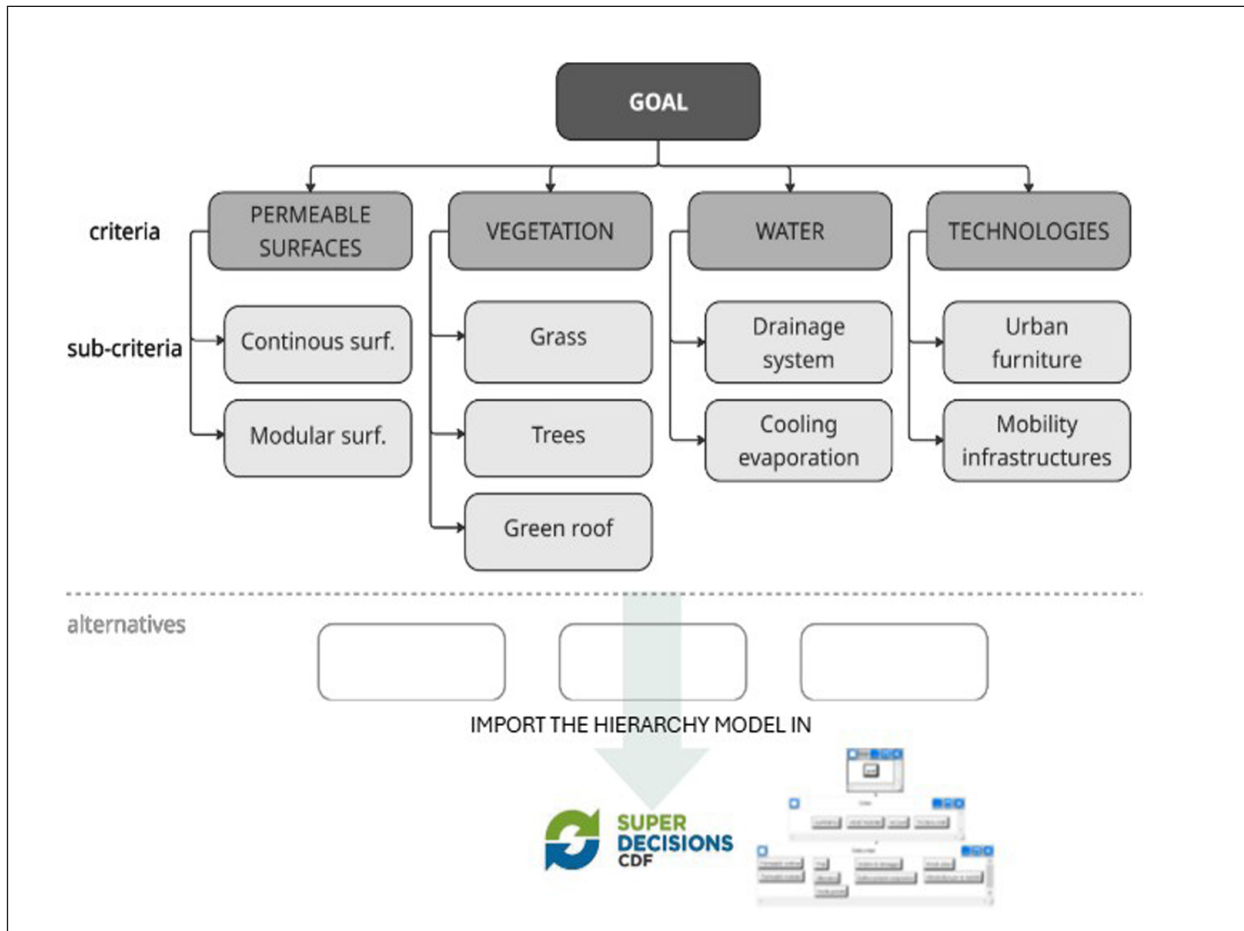


Figure 3. Setting up the AHP model in Superdecisions software.

A panel of six technicians from the Municipality of Cesena were shown the methodology and hierarchical model, and they consented to provide their thoughts on the applicability of the DEAm solution kinds and categories. Technical specialists made up the panel. In December 2024, a questionnaire-based survey was carried out. A varied collection of technicians with competence in land management (17%), public works (24%), and the environment (33%) may be seen in Table 5. Each technician's assessment was imported into the Superdecisions software in turn. For illustrative purposes, the assessments of the Public Works-Infrastructure Sector technician (DM3), the related pairwise comparison matrices (Figure 4), and the priorities of the AHP model (Table 6) are shown below.

In assessing the categories in relation to the main objective, the technician expressed a strong preference for technologies (66%), followed by surfaces (17%), water (9%) and finally vegetation (8%). DM3 expressed a very strong preference for continuous surfaces (80%) over modular ones (20%), and a strong preference for drainage systems (75%) over evaporative cooling (25%). As for greenery, DM3 expressed a strong preference for trees (73%) over lawns (17%) and roof gardens (10%). Finally, regarding technologies, the technician expressed a strong opinion on the importance of street furniture (75%) over infrastructure (25%).

Table 5. Composition of the panel of experts

Quest.	DM	Profession	Municipality Sectors	Incidenza %	Data compilazione
1	DM1	Engineer Municipal technician	Sector Territorial Government	Incidence %	Compilation date
2	DM2	Municipal technician	Sector Public Works - Public Greenery	17%	20/12/2024
3	DM3	Municipal technician	Sector Public Works - Infrastructures		20/12/2024
4	DM4	Municipal technician	Sector Environment - Environmental Assessments	33%	20/12/2024
5	DM5	Architect Municipal technician	Sector Environment - Environmental Assessments		20/12/2024
6	DM6	Municipal technician	Sector Environment		20/12/2024
total: 6				100%	

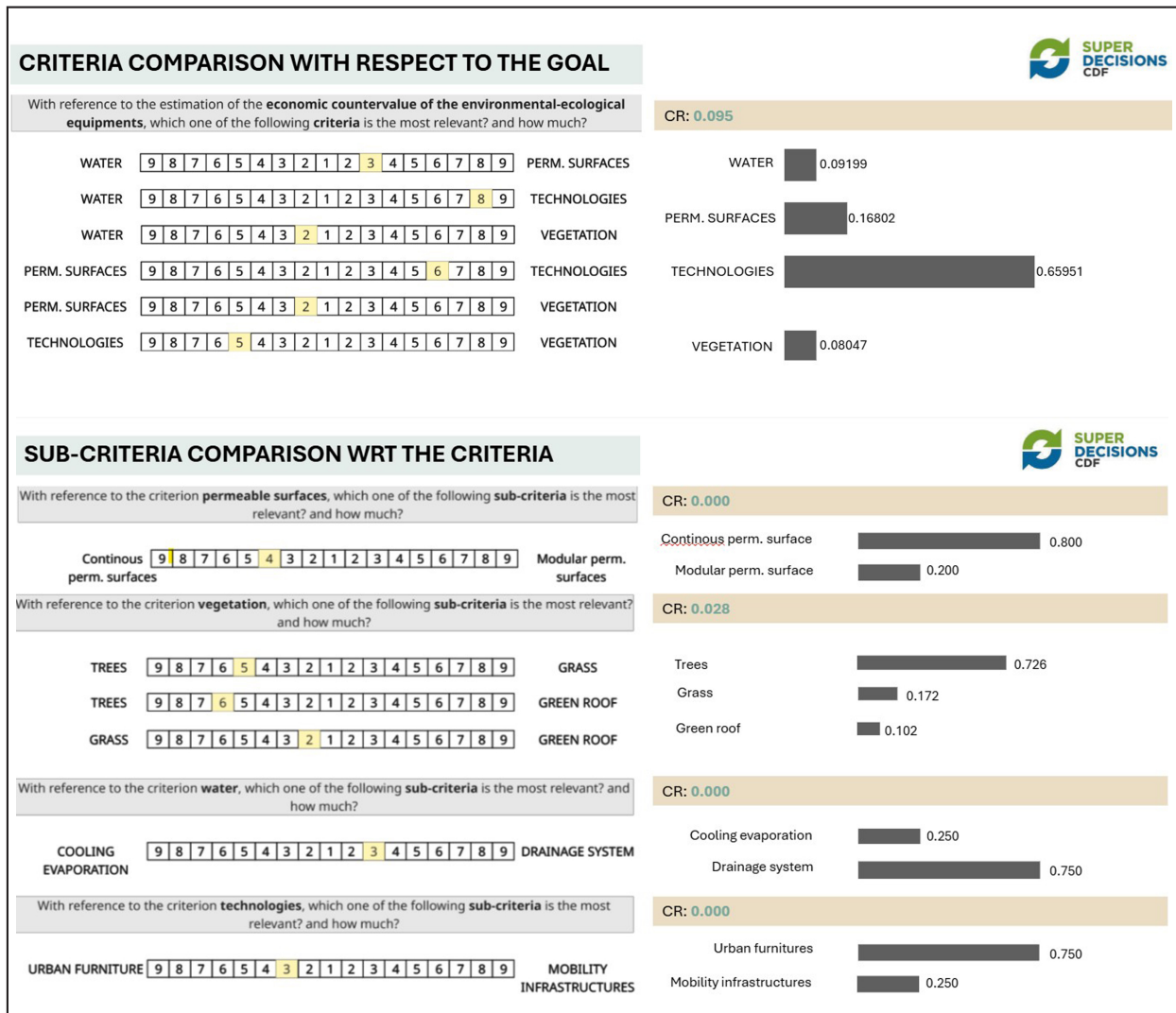


Figure 4. Sample extract of T3 pairwise comparisons: (a) criteria level (b) sub-criteria level.

Table 6. Pairwise comparison matrices referring to the T3 technician's assessment

GOAL - Level of Criteria		
DEAm Macro-categories	Normalised priorities	Idealised priorities
Water	0.13	0.26
Permeable surfaces	0.51	1.00
Integrated Technologies	0.06	0.12
Vegetation	0.29	0.58
CR	0.09	

PERMEABLE SURFACES - Level of Sub-criteria		
DEAm Sub-categories	Normalised priorities	Idealised priorities
Continuous permeable surfaces	0.17	0.20
Modular permeable surfaces	0.83	1.00
CR	0.00	

Fallow Table 6. Pairwise comparison matrices referring to the T3 technician's assessment

VEGETATION - Level of Sub-criteria		
DEAm Sub-categories	Normalised priorities	Idealised priorities
Trees	0.57	1.00
Grasses	0.36	0.63
Green roof	0.07	0.11
CR	0.05	

WATER - Level of Sub-criteria		
DEAm Sub-categories	Normalised priorities	Idealised priorities
Cooling evaporation	0.10	0.11
Drainage system	0.90	1.00
CR	0.00	

INTEGRATED TECHNOLOGIES - Level of Sub-criteria		
DEAm Sub-categories	Normalised priorities	Idealised priorities
Urban furnitures	0.25	0.33
Mobility Infrastructure	0.75	1.00
CR	0.00	

Table 7. Normalised priorities for clusters and priority limits obtained from the T3 technician's assessment

AHP tree elements	Normalised priorities	Limiting priorities
Water	0.13	0.07
Permeable surfaces	0.51	0.26
Integrated technologies	0.06	0.03
Vegetation	0.29	0.15
goal	-	-
Trees	0.17	0.08
Urban furnitures	0.02	0.01
Mobility infrastructures	0.05	0.02
Continuous permeable surfaces	0.09	0.04
Modular permeable surfaces	0.43	0.21
Grass	0.11	0.05
Cooling evaporation	0.01	0.01
Drainage system	0.12	0.06
Green roof	0.02	0.01
	total	1

The most important category, according to the average of the technicians' evaluations, is surfaces (32%). Permeable surfaces allow for more rainwater infiltration than traditional paved and asphalted surfaces (like parking lots), where flooding is more likely to occur. Vegetation (27%), which helps slow down rainwater runoff in residential areas (like rain gardens), especially when combined with the other categories, and water (22%), which serves to cool during heat waves and drain vegetation (like misters). Technologies (19%), which relates to support services for soft mobility and urban decor, is the least relevant category, or more accurately, the supporting category.

Regarding the permeable surfaces' criterion, continuous permeable surfaces are somewhat more common (56%) than modular permeable surfaces (44%) in terms of size and frequency of implementation, which entails a much smaller area and fewer interventions.

In terms of the vegetation requirement, planting young trees (50%) adds fresh biological life to areas where trees and shrubs have reached the end of their life cycle and helps to lessen soil instability. While green roofs (10%) promote the environmental, economic, and energy benefits of the built heritage, lawns (40%) aid in the preservation of native plant and animal species. These benefits are influenced by the building's structural conditions if it is pre-existing or, if it is a new construction, by the installation's success and, less obviously, by the owner's choice and available funds.

In terms of the water criterion, drainage systems are much more important for irrigating public green spaces (80%) than cooling systems (20%), which serve a limited purpose during heat waves but have regeneration advantages for the most vulnerable populations, including children and the elderly.

Concerning the Technologies criterion, it must be noticed that mobility infrastructure—here defined as light and sustainable transportation (e.g., e-bike servicing stations)—is preferred more than street furniture (e.g., pollinator modules) (38%).

The weight sets of the criteria prompted by the individual AHP assessments and the average weight set are displayed in Table 8, and the summary is shown in Figure 5, which also includes the normalised geometric mean to confirm the range in the weights' incidence. In comparison to the arithmetic mean, the geometric mean exhibits a minor variance of 2.75%.

Table 8. AHP results at the criteria level on both the individual and grouped assessment of experts

Criteria	Experts' panel set of weights						Arithmetic mean	Geometric mean	Norm. geom. mean
	DM1 GDT	DM2 VP	DM3 LLPP	DM4 AMB1	DM5 AMB2	DM6 AMB3			
Water (A)	0.09	0.15	0.13	0.24	0.29	0.42	0.22	0.20	0.24
Surfaces (S)	0.17	0.51	0.51	0.20	0.41	0.15	0.32	0.28	0.35
Technologies (T)	0.66	0.04	0.06	0.15	0.16	0.04	0.19	0.11	0.14
Vegetation (V)	0.08	0.29	0.29	0.42	0.13	0.39	0.27	0.23	0.28

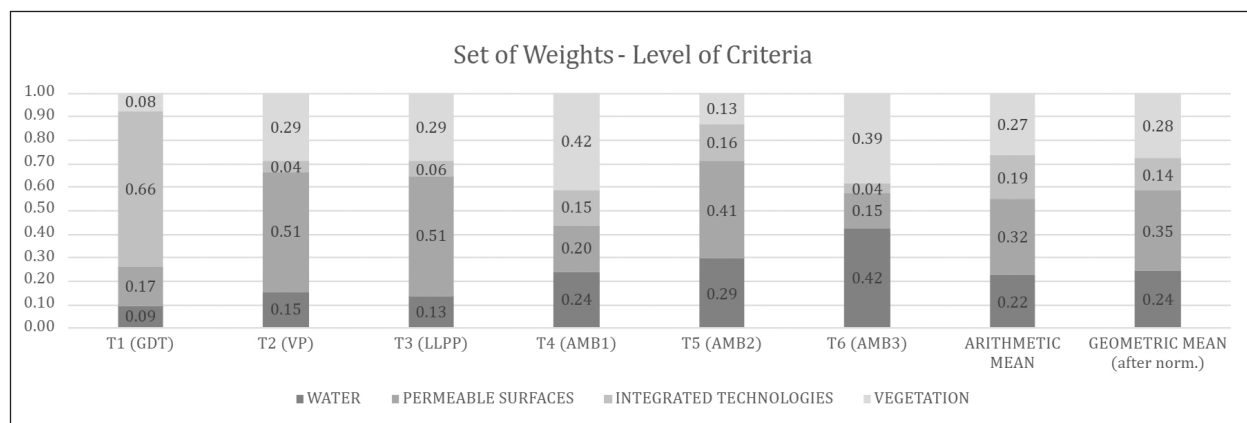


Figure 5. Comparison of the AHP weight sets of individual experts and the arithmetic and geometric means.

5. Discussion of results

It was feasible to determine the weight of the criteria as well as the weight of the sub-criteria by using the data from the questionnaire given to the panel of experts using the AHP technique, as detailed in the preceding sections of this article.

Using the relative weights derived from AHP analysis, the average unit cost determined for the set of design options examined using estimated metric computations is applied to the cost of each sub-criterion. The weighted average unit cost, which is related to the criterion, is then subjected to a second weighting. The weighted average unit cost of the ecological-environmental equipments (DEAm) is €84.99/sqm based on the total average unit cost derived from the sum of the subpart costs (Table 9).

Table 9. Calculation of the weighted average unit cost

Criteria	Sub-criteria	Average unit cost	AHPSub-criteria weights	Weighted average unit cost sub-criteria	AHPCriteria weights	Weighted average unit cost Criteria
		€/m ²	%	€/m ²	%	€/m ²
Permeable surfaces	Continuous perm. surfaces	46.05	60%	27.63		
	Modular perm. surfaces	51.59	40%	20.64		
	Total		100%	48.27	32%	15.45
Vegetation	Grasses	51.28	37%	18.97		
	Trees	50.98	53%	27.02		
	Green roof	180.25	10%	18.02		
	Total		100%	64.02	27%	17.28
Water	Drainage system	94.57	79%	74.71		
	Cooling evaporation	718.35	21%	150.85		
	Total		100%	225.56	22%	49.62
Integrated Technologies	Urban furnitures	24.73	43%	10.64		
	Mobility infrastructure	5.65	57%	3.22		
	Total		100%	13.85	19%	2.63
Total				100%	84.99	

6. Conclusions

The application of an integrated assessment including the Bill of Quantities (BoQ) and the Analytic Hierarchy Process (AHP) to estimate the average unit and weighted cost of ecological and environmental equipment (DEAm) to be allocated within direct interventions according to with the new inter-municipal PUG of Cesena-Montiano was addressed in this paper.

The Bill of Quantities (BoQ) is regarded as a trustworthy method for calculating the overall cost of DEAm, for which it can occasionally be challenging to locate data on material and process costs. It is still up to the skill, experience, and sensitivity of the designer/evaluator to look for direct and indirect sources to estimate the cost of materials and processes for each individual project, taking into account the site-specific characteristics of the project area and its surrounding conditions from the outset, as there are currently no thematic price lists in Italy that pre-pack the costs of DEAm, naturalistic engineering works, or Nature-Based Solutions (NBS).

Thematic pricing lists for such solutions, which explore one of the many facets of the notion of public works themselves, have drawn interest, particularly among public administrations, due to the necessity to optimise the timing of any activity, including the evaluation process. Even though it is obvious that this information is useful for making decisions, this requirement must be supported by qualified staff who will create these price lists for all kinds of projects (rather than just a few) and maintain them until the NBS recognises more than just a “good value to make money.” (Assumma & De Luca, 2024). The PUG’s bottom-up governance model has helped create the DEAm solutions Abacus, which is now a representative horizontal model for adjacent Municipalities and a vertical model for the Province and the Region.

The AHP weighting approach produced a weighted average cost of € 84.99/sqm with reference to art. 5.5.3 of the Regulation implementing and evaluating DEAm, which imposes a unit cost of € 92/sqm. The outcome can be interpreted from two different perspectives: first, from a private perspective, it is an incentive to apply the DEAm solution within the project area; second, from the Municipality’s perspective, even if it received a lower deferred cost of € 8,00, it would still benefit the municipal coffers in terms of the cost of damage avoided. from natural disasters (e.g. flooding).

The Municipality deemed the AHP suitable for this work compared to other multi-criteria techniques. The first alternative was AHP, the simplest and most manageable option throughout the urban planning life cycle and capable of satisfying the stakeholders’ wishes in the short term, while the second alternative was Spatial Multicriteria Analysis (SMCA) (Caprioli & Bottero, 2020; Malczewski & Rinner, 2015), which is more sophisticated for its integration with GIS systems and enables the most and least suitable areas to be spatialised in relation to both the *de jure* and *de facto* status of the municipal territory according to the categories and sub-categories of the Abacus. The Municipality has recognised the potential of the SMCA to consider the needs of different types of ecological and environmental resources within the municipal territory, also considering the different building densities that characterise the different areas (e.g. the historic centre compared to the urban periphery).

In conclusion, this work has addressed both the monetary and non-monetary dimensions of economic evaluation to provide a weighted average unit cost of ecological and environmental assets. Because of the nature of these solutions, it is crucial to consider the future research perspective of estimating the biophysical-economic value of the positive externalities produced by these solutions and the necessity of integrating Risk Assessment to assist public and private entities in mitigating and/or compensating for the impact of soil (and subsoil) transformation, such as by estimating the Cost of Avoided Damage (Assumma & De Luca, 2024).

Authors Contribution

The authors’ contributions are equally divided for this article.

Bibliography

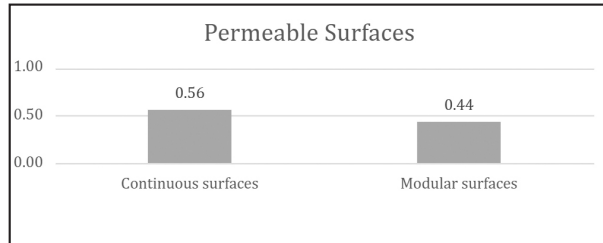
- Aguarón J., Escobar M.T. & Moreno-Jiménez J.M. (2021). Reducing inconsistency measured by the geometric consistency index in the analytic hierarchy process. *European Journal of Operational Research*, 288(2), 576–583. <https://doi.org/10.1016/J.EJOR.2020.06.014>
- Amer M., Daim T.U. & Jetter A. (2013). A review of scenario planning. *Futures*, 46, 23–40. <https://doi.org/10.1016/j.futures.2012.10.003>
- Apollonio F.I., Fallavollita F., Foschi R. & Smurra R. (2024). Multi-Feature Uncertainty Analysis for Urban-Scale Hypothetical 3D Reconstructions: Piazza delle Erbe Case Study. *Heritage 2024*, Vol. 7, Pages 476–498, 7(1), 476–498. <https://doi.org/10.3390/HERITAGE7010023>
- Assumma V. & De Luca C. (2024). Assessing the Value of Cultural Landscapes Through the Integration of Biophysical-Economic Valuation, Risk Assessment and Cost-Benefit Analysis. *Lecture Notes in Computer Science (Including Subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics)*, 14822 LNCS, 78–93. <https://doi.org/10.1007/978-3-031->

- Awad J. & Jung C. (2022). Extracting the Planning Elements for Sustainable Urban Regeneration in Dubai with AHP (Analytic Hierarchy Process). *Sustainable Cities and Society*, 76. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2021.103496>
- Brunelli M. (2018). A survey of inconsistency indices for pairwise comparisons. *International Journal of General Systems*, 47(8), 751–771. <https://doi.org/10.1080/03081079.2018.1523156>; CTYPE:STRING:JOURNAL
- Brunelli M. & Cavallo B. (2020). Distance-based measures of incoherence for pairwise comparisons. *Knowledge-Based Systems*, 187, 104808. <https://doi.org/10.1016/J.KNOSYS.2019.06.016>
- Caprioli C. & Bottero M. (2020). Addressing complex challenges in transformations and planning: A fuzzy spatial multicriteria analysis for identifying suitable locations for urban infrastructures. *Land Use Policy*.
- Carvalho M. & Belo O. (2020). An Upper Level for What-If Analysis. *Communications in Computer and Information Science*, 1297, 69–93. https://doi.org/10.1007/978-3-030-66196-0_4
- Çelen A. (2014). Comparative analysis of normalization procedures in TOPSIS method: With an application to Turkish deposit banking market. *Informatika (Netherlands)*, 25(2), 185–208. <https://doi.org/10.15388/INFORMATICA.2014.10>
- Cicala G. (2020). Developing a Work Breakdown Structure. *The Project Managers Guide to Microsoft Project 2019*, 119–148. https://doi.org/10.1007/978-1-4842-5635-0_6
- Corrente S., Figueira J.R. & Greco S. (2021). Pairwise comparison tables within the deck of cards method in multiple criteria decision aiding. *European Journal of Operational Research*, 291(2), 738–756. <https://doi.org/10.1016/J.EJOR.2020.09.036>
- Datola G., Ghisoni A., Dell'ovo M. & Oppio A. (2025). The feasibility of Nature-Based Solution (NBS) interventions: estimating the cost using the Work Breakdown Structure (WBS)[La fattibilità degli interventi Nature-Based Solutions (NBS): la stima dei costi attraverso il modello Work Breakdown Structure (WBS)]. *Valori e Valutazioni*, 2025(37), 183–202. <https://doi.org/10.48264/VVSIEV-20253711>
- Foundation E.M. (2013). Transitioning to a circular economy business | Report. Retrieved July 18, 2025, from Report website: <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/towards-the-circular-economy-vol-1-an-economic-and-business-rationale-for-an>
- Globerson S. (1994). Impact of various work-breakdown structures on project conceptualization. *International Journal of Project Management*, 12(3), 165–171. [https://doi.org/10.1016/0263-7863\(94\)90032-9](https://doi.org/10.1016/0263-7863(94)90032-9)
- Godet M. (2000). The Art of Scenarios and Strategic Planning: Tools and Pitfalls. *Technological Forecasting and Social Change*, 65(1), 3–22. [https://doi.org/10.1016/S0040-1625\(99\)00120-1](https://doi.org/10.1016/S0040-1625(99)00120-1)
- Greco S., Ehrgott M. & José Rui Figueira. (2016). *Multiple Criteria Decision Analysis. State of the Art Surveys* (S. Greco M. Ehrgott & J. R. Figueira, Eds.). <https://doi.org/10.1007/978-1-4939-3094-4>
- Hamurcu M. & Eren T. (2020). Strategic planning based on sustainability for urban transportation: An application to decision-making. *Sustainability (Switzerland)*, 12(9). <https://doi.org/10.3390/SU12093589>
- ISPRA. (2024). Consumo di suolo, dinamiche territoriali e servizi ecosistemici. Edizione 2024 – SNPA – Sistema nazionale protezione ambiente. Retrieved July 18, 2025, from Report website: <https://www.snpambiente.it/temi/suolo/consumo-di-suolo-dinamiche-territoriali-e-servizi-ecosistemici-edizione-2024/>
- IUCN I. U. for C. of N. (2020). *Global Standard for Nature-based Solutions. A user-friendly framework for the verification, design and scaling up of NbS. First edition.* <https://doi.org/10.2305/IUCN.CH.2020.09.en>
- Jung C. & Awad J. (2023). Sharjah Sustainable City: An Analytic Hierarchy Process Approach to Urban Planning Priorities. *Sustainability (Switzerland)*, 15(10). <https://doi.org/10.3390/su15108217>
- Le Coent P., Graveline N., Altamirano M.A., Arfaoui N., Benitez-Avila C., Biffin T., ... Piton G. (2021). Is-it worth investing in NBS aiming at reducing water risks? Insights from the economic assessment of three European case studies. *Nature-Based Solutions*, 1, 100002.

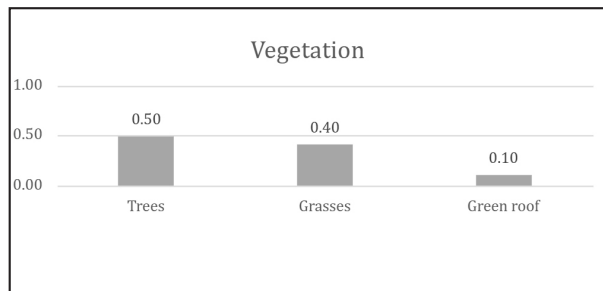
- <https://doi.org/10.1016/J.NBSJ.2021.100002>
- Malczewski J. & Rinner C. (2015). Multicriteria Decision Analysis in Geographic Information Science. *Analysis Methods*.
- Moosavi S. (2022). Design experimentation for Nature-based Solutions: Towards a definition and taxonomy. *Environmental Science & Policy*, 138, 149–161. <https://doi.org/10.1016/J.EN-VSCI.2022.10.004>
- Mustajoki J., Hämäläinen R.P. & Salo A. (2005). Decision Support by Interval SMART/SWING—Incorporating Imprecision in the SMART and SWING Methods. *Decision Sciences*, 36(2), 317–339. <https://doi.org/10.1111/J.1540-5414.2005.00075.X>
- Oppio A., Bottero M. & Arcidiacono A. (2018). Assessing urban quality: a proposal for a MCDA evaluation framework. *Annals of Operations Research*. <https://doi.org/10.1007/s10479-017-2738-2>
- RICS. (2021). *New rules of measurement Detailed measurement for building works 2nd edition UK NRM 2: DETAILED MEASUREMENT FOR BUILDING WORKS*. (October), 151–223. Retrieved from https://www.rics.org/content/dam/ricsglobal/documents/standards/october_2021_nrm_2.pdf
- Rovers R. (2019). *People vs resources: restoring a world out of balance*. 378. Retrieved from <https://eburon.nl/en/product/people-vs-resources/>
- Saaty R.W. (1987). The analytic hierarchy process—what it is and how it is used. *Mathematical Modelling*, 9(3–5), 161–176. [https://doi.org/10.1016/0270-0255\(87\)90473-8](https://doi.org/10.1016/0270-0255(87)90473-8)
- Saaty T.L. (1977). A scaling method for priorities in hierarchical structures. *Journal of Mathematical Psychology*, 15(3), 234–281. [https://doi.org/10.1016/0022-2496\(77\)90033-5](https://doi.org/10.1016/0022-2496(77)90033-5)
- Sikorska D., Macegoniuk S., Łaszkiewicz E. & Sikorski P. (2020). Energy crops in urban parks as a promising alternative to traditional lawns – Perceptions and a cost-benefit analysis. *Urban Forestry & Urban Greening*, 49, 126579. <https://doi.org/10.1016/J.UFUG.2019.126579>
- Silva R.R. da, Santos G.D. & Setti D. (2022). A multi-criteria approach for urban mobility project selection in medium-sized cities. *Sustainable Cities and Society*, 86. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2022.104096>
- Singh M. & Marwaha B.M. (2025). Optimising criteria for achieving sustainable housing for industrial workers using a multi-criteria decision analysis approach: A case study of Noida, Uttar Pradesh, India. *Journal of Urban Regeneration and Renewal*, 19(1), 69–85. <https://doi.org/10.69554/OOAH6203>
- UN-Habitat. (2024). World Cities Report 2024: Cities and Climate Action | UN-Habitat. Retrieved July 18, 2025, from Report website: <https://unhabitat.org/world-cities-report-2024-cities-and-climate-action>
- UN. (2015). Transforming our World: The 2030 Agenda for Sustainable Development | Department of Economic and Social Affairs. Retrieved July 18, 2025, from Report website: <https://sdgs.un.org/publications/transforming-our-world-2030-agenda-sustainable-development-17981>
- Vafaei N., Ribeiro R.A. & Camarinha-Matos, L. M. (2016). Normalization techniques for multi-criteria decision making: Analytical hierarchy process case study. *IFIP Advances in Information and Communication Technology*, 470, 261–268. https://doi.org/10.1007/978-3-319-31165-4_26/TABLES/6
- Yaralioglu I. & Kara C. (2024). Sustainable Urban Design Approach for Public Spaces Using an Analytical Hierarchy Process (AHP). *Land* 2025, Vol. 14, Page 19, 14(1), 19. <https://doi.org/10.3390/LAND14010019>

Appendix

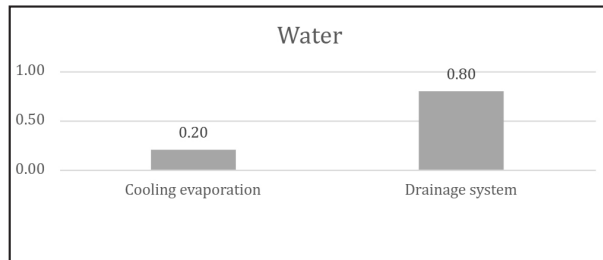
Figure A1. Set of weights of the sub-criteria referred to the average of the experts' evaluations: a) impermeable surfaces, b) vegetation, c) water, d) technologies



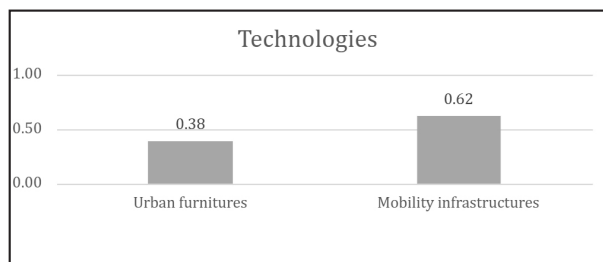
a



b



c




d

Table A1. AHP priorities on average expert ratings.

AHP elements	Normalised priorities	Limiting priorities
Water	0.22	0.11
Surfaces	0.32	0.14
Technologies	0.19	0.08
Vegetation	0.27	0.11
goal	0.00	0.00
Trees	0.11	0.05
Urban furnitures	0.10	0.04
Mobility infrastructures	0.09	0.04
Continuous permeable surfaces	0.16	0.07
Modular permeable surfaces	0.16	0.07
Grasses	0.13	0.06
Cooling evaporation	0.04	0.02
Drainage system	0.18	0.08
Green roof	0.03	0.01
	total	1

Appendix

Figure A2. Extract from the questionnaire.

 **Comune di Cesena**

VALUTAZIONE DELLE DOTAZIONI ECOLOGICO-AMBIENTALI ATTRAVERSO L'ANALISI MULTICRITERI «ANALYTIC HIERARCHY PROCESS» (AHP)

QUESTIONARIO

Questionario n° _____ Professione _____
 Organizzazione _____
 Data _____

Il questionario è rivolto ad un panel di esperti coinvolto nella valutazione delle dotazioni ecologico-ambientali (AD) del Piano Urbanistico Generale (PUG) del Comune di Cesena. L'obiettivo è quello di **definire le categorie di dotazioni AD più rilevanti** per supportare la trasformazione urbana, considerando gli obiettivi definiti dall'art. 5.5.3 nelle Norme di Attuazione del PUG.

Al fine di raggiungere tale obiettivo, si invitano gli esperti a rispondere a una serie di domande nelle quali sarà richiesto di esprimere un giudizio di preferenza secondo il principio del confronto a coppie, ovvero utilizzando una scala a punteggi da 1 a 9 (nota anche come Scala Fondamentale di Saaty).

Si segnala che **tutte le informazioni che verranno fornite nel questionario saranno trattate in maniera confidenziale e che i dati saranno impiegati esclusivamente per lo scopo della valutazione.**

Si precisa inoltre che **l'esperto è libero nella compilazione delle varie parti del questionario**, focalizzando l'attenzione sugli aspetti più di sua competenza ed eventualmente tralasciando le domande che ritiene non propriamente attinenti alle sue competenze.

Si prega di compilare il questionario e di restituirlo per mail al seguente indirizzo: vanessa.assumma@unibo.it

a

SEZIONE A

CONFRONTO A COPPIE A LIVELLO DELLE MACRO-CATEGORIE

Domanda 1:
 Con riferimento al perseguimento di una *trasformazione urbanistica sostenibile dal punto di vista ecologico-ambientale*, quali di queste categorie di soluzioni è la più rilevante? E in quale misura?

Superfici	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Vegetazione
Superfici	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Acqua
Superfici	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Tecnologie
Vegetazione	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Acqua
Vegetazione	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Tecnologie
Acqua	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Tecnologie

NOTE

c

ORGANIZZAZIONE DEL MODELLO GERARCHICO

I vari elementi sono parte di un sistema di relazioni che favoriscono la scomposizione del problema in parti più semplici. L'implementazione del modello AHP è supportata dal software Superdecisions (Creative Commons Foundation, www.superdecisions.com).

PESATURA DEI CRITERI E DEI SOTTO-CRITERI

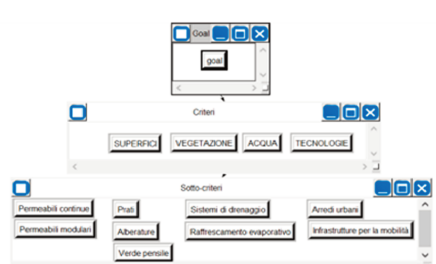
Una volta strutturato il modello decisionale, è necessario procedere alla valutazione dell'importanza relativa delle categorie e dei tipi di materiali e soluzioni considerati. I partecipanti sono chiamati a rispondere ad una serie di domande generate dal modello AHP precedentemente definite.

Le domande fanno riferimento a una serie di confronti specifici tra diversi elementi considerati. Nel rispondere alle domande, i partecipanti utilizzano una scala numerica prestabilita, ovvero la "Scala Fondamentale di Saaty". Di seguito si porta un esempio di domanda generata dal modello.

"Quale dei seguenti criteri contribuisce maggiormente al raggiungimento del goal? In quale misura?"

ELEMENTI COSTITUTIVI DEL MODELLO AHP

- **Criteria:** Categorie dell'Abaco del Regolamento DEAm;
- **Sotto-criteri:** Materiali/Soluzioni nelle singole categorie;
- **Relazioni:** Monodirezionali, a cascata.



b

SEZIONE B

CONFRONTO A COPPIE A LIVELLO DEL SET DI SOLUZIONI

Domanda 1:
 Con riferimento alla definizione della categoria "Superfici", quali di questi materiali/soluzioni è il più rilevante? E in quale misura?

Permeabili continue	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Permeabili modulari
---------------------	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---------------------

Domanda 2:
 Con riferimento alla definizione della categoria "Vegetazione", quali di questi materiali/soluzioni è il più rilevante? E in quale misura?

Prati	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Alberature
Prati	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Verde pensile
Alberature	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Verde pensile

Domanda 3:
 Con riferimento alla definizione della categoria "Acqua", quali di questi materiali/soluzioni è il più rilevante? E in quale misura?

Sistemi di drenaggio	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Raffr. evaporativo
----------------------	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	--------------------

Domanda 4:
 Con riferimento alla definizione della categoria "Tecnologie", quali di questi materiali/soluzioni è il più rilevante? E in quale misura?

Arredi urbani	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
---------------	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	--

d

Appendix

Table A2 AHP results from Technician T1 with expertise on land management (GDT)

T1: Goal - Level of Criteria

Sub-criteria	Normalised priorities	Idealised priorities
Water	0.09	0.14
Permeable Surfaces	0.17	0.25
Integrated Technologies	0.66	1.00
Vegetation	0.08	0.12
CR	0.10	

T1: Criteria - Level of Sub-criteria

Permeable Surfaces

Sub-criteria	Normalised priorities	Idealised priorities
Continuous perm. surfaces	0.80	1.00
Modular perm. surfaces.	0.20	0.25
CR	0.00	

Vegetation

Sub-criteria	Normalised priorities	Idealised priorities
Trees	0.73	1
Grasses	0.17	0.24
Green roof	0.10	0.14
CR	0.03	

Water

Sub-criteria	Normalised priorities	Idealised priorities
Cooling evaporation	0.25	0.33
Drainage system	0.75	1
CR	0	

Integrated Technologies

Sub-criteria	Normalised priorities	Idealised priorities
Urban furnitures	0.75	1
Mobility infrastructure	0.25	0.33
CR	0	

T1: Priorities

AHP Elements	Normalised priorities	Limiting priorities
Water	0.09	0.05
Surfaces	0.17	0.08
Technologies	0.66	0.33
Vegetation	0.08	0.04
goal	0.00	0.00
Trees	0.06	0.03
Urban furnitures	0.49	0.25
Mobility infrastructures	0.16	0.08
Continuous permeable surfaces	0.13	0.07
Modular permeable surfaces	0.03	0.02
Grasses	0.01	0.01
Cooling evaporation	0.02	0.01
Drainage system	0.07	0.03
Green roof	0.01	0.00
	total	1

Appendix

Table A3. AHP results from the Technician T2 with expertise on public greenery (VP)

T2: Goal - Level of Criteria		
Sub-criteria	Normalised priorities	Idealised priorities
Water	0.15	0.30
Permeable Surfaces	0.51	1.00
Integrated Technologies	0.04	0.09
Vegetation	0.29	0.57
CR	0.09	

T2: Criteria - Level of Sub-criteria		
Permeable Surfaces		
Sub-criteria	Normalised priorities	Idealised priorities
Continuous perm. surfaces	0.83	1.00
Modular perm. surfaces.	0.17	0.20
CR	0	

Vegetation		
Sub-criteria	Normalised priorities	Idealised priorities
Trees	0.57	1.00
Grasses	0.36	0.63
Green roof	0.07	0.11
CR	0.05	

Water		
Sub-criteria	Normalised priorities	Idealised priorities
Cooling evaporation	0.25	0.33
Drainage system	0.75	1.00
CR	0.00	

Integrated Technologies		
Sub-criteria	Normalised priorities	Idealised priorities
Urban furnitures	0.75	1
Mobility infrastructures	0.25	0.33
CR	0	

T2: Priorities		
Sub-criteria	Normalised priorities	Idealised priorities
Water	0.15	0.08
Surfaces	0.51	0.26
Technologies	0.04	0.02
Vegetation	0.29	0.15
goal	0.00	0.00
Trees	0.17	0.08
Urban furnitures	0.02	0.01
Mobility infrastructures	0.02	0.01
Continuous permeable surfaces	0.43	0.21
Modular permeable surfaces	0.09	0.04
Grasses	0.11	0.05
Cooling evaporation	0.04	0.02
Drainage system	0.11	0.06
Green roof	0.02	0.01
	total	1

Appendix

Table A4. AHP results by Technician T3 with expertise on public works (LLPP)

ESPERTO LLPP		
T3: Goal - Level of Criteria		
Criteria	Normalised priorities	Limiting priorities
Water	0.13	0.26
Permeable Surfaces	0.51	1.00
Integrated Technologies	0.06	0.12
Vegetation	0.29	0.58
CR	0.09	
T3: Criteria - Level of Sub-criteria		
Permeable Surfaces		
Sub-criteria	Normalised priorities	Idealised priorities
Continuous perm. surfaces	0.17	0.20
Modular perm. surfaces	0.83	1.00
CR	0	
Vegetation		
Sub-criteria	Normalised priorities	Idealised priorities
Trees	0.57	1.00
Grasses	0.36	0.63
Green roof	0.07	0.11
CR	0.05	
Water		
Sub-criteria	Normalised priorities	Idealised priorities
Cooling evaporation	0.10	0.11
Drainage system	0.90	1.00
CR	0	

Integrated Technologies		
Sub-criteria	Normalised priorities	Idealised priorities
Urban furnitures	0.25	0.33
Mobility infrastructures	0.75	1.00
CR		
T3: Priorities		
AHP Elements	Normalised- priorities	Limiting priorities
Water	0.13	0.07
Surfaces	0.51	0.26
Technologies	0.06	0.03
Vegetation	0.29	0.15
goal	0.00	0.00
Trees	0.17	0.08
Urban furnitures	0.02	0.01
Mobility infrastructures	0.05	0.02
Continuous permeable surfaces	0.09	0.04
Modular permeable surfaces	0.43	0.21
Grasses	0.11	0.05
Cooling evaporation	0.01	0.01
Drainage system	0.12	0.06
Green roof	0.02	0.01
	total	1

Valutazione del costo medio ponderato delle dotazioni ecologico-ambientali nei processi di trasformazione urbana

Vanessa Assumma^{1,*}, David Casagrande², Valentina Cosmi², Stefano Stanghellini²

¹ Dipartimento di Architettura, Università di Bologna, Via del Risorgimento 2, 40136 Bologna, Italia; vanessa.assumma@unibo.it

² Studio Associato Territorio e Mercati (TeM), Via Cesare Battisti 14, 40121 Bologna, Italia. casagrande@territorioemercati.it, cosmi@territorioemercati.it, stanghellini@territorioemercati.it

* autore corrispondente

Parole chiave

costo medio ponderato, computo metrico estimativo, analisi multicriteri, piano urbanistico, politiche pubbliche, *nature-based solutions*

Abstract

Il processo di rinnovo dei piani urbanistici è sempre più attento a trasferire il paradigma della sostenibilità in progettualità strategiche per contrastare il cambiamento climatico. Il nuovo Piano Urbanistico Intercomunale Cesena-Montiano ha approvato un Regolamento finalizzato, tra i diversi obiettivi, finalizzato anche all'implementazione di Dotazione Ecologico-Ambientali (DEAm) per compensare e mitigare l'impatto ambientale di interventi diretti, quali di nuova realizzazione, riqualificazione, rigenerazione e rifunzionalizzazione. Le DEAm sono casistiche virtuose selezionate dalla Municipalità in quanto rispondenti alle caratteristiche sito-specifiche del contesto urbano in esame. Per favorire la loro realizzazione, il Regolamento richiede la stima del Controvalore Economico (CVE) impiegando il Computo Metrico Estimativo (CME). Questo articolo presenta lo sviluppo di un approccio di valutazione economica che integra il CME con l'*Analytic Hierarchy Process* (AHP) per supportare la stima ponderata del CVE da applicare alle DEAm nei casi previsti dal Piano. Per ciascuna soluzione progettuale è stato redatto un CME per determinare il costo parametrico unitario. La AHP è finalizzata a valutare la rilevanza delle macro-categorie (superfici permeabili, acqua, vegetazione e tecnologie) e delle sotto-categorie (singole dotazioni) contenute nell'Abaco del Regolamento per ponderare il costo medio unitario. È stato somministrato un questionario a un gruppo di tecnici della Municipalità con competenze distinte, per elicitare la rilevanza degli elementi. Il costo medio unitario delle soluzioni progettuali è stato così pesato con il costo di ciascun sotto-criterio applicando i relativi pesi. Il costo medio unitario totale ottenuto dalla somma dei parziali restituisce il costo medio unitario ponderato delle Dotazioni Ecologico-Ambientali pari a 84,99 €/mq.

1. Introduzione

La nuova generazione di Piani urbanistici, comunali e intercomunali, è sempre più recettiva alla valorizzazione della qualità ecologico-ambientale e del benessere dei cittadini in una visione strategica di medio-lungo termine. Questa tendenza, per quanto recente, rappresenta un traguardo di grande rilevanza che sta favorendo un adattamento positivo sia dei sistemi urbani e territoriali, sia dei propri strumenti normativi e di governo del territorio, coerentemente con i framework e le agende Internazionali, Europee e nazionali (Foundation, 2013; ISPRA, 2024; UN-Habitat, 2024; UN,

2015) e con lo stesso quadro normativo nazionale, regionale e locale, come quello Italiano con la LN n. 1150/1942¹ e il D.lgs n. 152/2006². Nel 2013, la Regione Emilia-Romagna ha approvato una “Strategia per la mitigazione e l’adattamento al cambiamento climatico”(2015)³, che ha preceduto l’adozione della LUR dell’Emilia-Romagna n. 24/2017⁴ vigente. In questo contesto normativo, il Comune di Cesena e il Comune di Montiano hanno redatto il Piano Urbanistico Generale Intercomunale⁵ (PUG) nel 2023, per un territorio complessivo di 258,73 Km² e che conta 98.481 abitanti⁶. La strategia del PUG Intercomunale è attenta al recupero del patrimonio esistente con una maggiore consapevolezza sul valore della risorsa suolo, favorendo il riuso del suolo già urbanizzato, l’arresto del consumo di suolo, e la valorizzazione delle infrastrutture verdi. Queste priorità mirano a mitigare il rischio da calamità naturali, quali alluvioni e bombe d’acqua, che contraddistinguono questo territorio, mediante soluzioni in grado di rallentare la velocità del deflusso meteorico, specialmente dove la permeabilità e la capacità di assorbimento del suolo sono state compromesse. Il Piano ha incorporato degli elementi del PUG di Cesena all’interno della strategia intercomunale: nel 2019, Cesena ha adottato il Piano di azione per la sostenibilità energetica (PAESC)⁶, nel 2020 il Comune ha aderito al Green City Accord⁸ e nel 2021 ha sottoscritto la Carta delle città verso la neutralità climatica^{7bis}.

Il PUG intercomunale è stato avviato nel Febbraio 2023, tre mesi prima di un tragico evento alluvionale avvenuto a Maggio dello stesso anno. Ciò ha accresciuto la consapevolezza dei due Comuni nel prioritizzare determinate scelte urbanistiche per contrastare gli effetti calamitosi del durante e del post evento, insieme alla definizione di direttive utili al calcolo del valore economico e del valore ecologico-ecosistemico delle stesse soluzioni.

La disciplina della monetizzazione, definita dall’ex art. 24 delle Norme di Attuazione (NdA) del Regolamento n. 278/2008 del PUG di Cesena, approvava i criteri e l’aggiustamento dei valori unitari per la monetizzazione degli spazi da destinare a parcheggi pubblici e al verde pubblico, pari a 142 €/mq e a 41 euro/mq, rispettivamente. Con il PUG di Cesena-Montiano, la disciplina della monetizzazione è oggi regolata dall’art. 5.5.3 del Nuovo Regolamento per l’implementazione e la valutazione di dotazioni ecologiche e ambientali multi-prestazionali e compensazioni ambientali (DCC No. 21 of 18/04/2024)⁹ definendo il costo unitario delle dotazioni territoriali pari a 92 euro/mq.

Questo lavoro, risultato di una consulenza intercorsa con la Municipalità, favorisce una duplice innovazione per stimare un costo unitario medio ponderato delle dotazioni ecologico-ambientali (DEAm) del PUG Intercomunale di Cesena-Montiano. Da un lato, il Computo Metrico Estimativo (CME)(RICS, 2021) - predefinito dal Regolamento come strumento economico-finanziario per determinare il Controvalore Economico (CVE) - viene integrato in modo strutturato da una *Multicriteria Analysis* (MCA) del tipo *ranking*, l’*Analytic Hierarchy Process* (AHP) (R. W. Saaty, 1987). Dall’altro lato, un CVE unitario “*policy ready*” immediatamente utilizzabile nei procedimenti istruttori, colmando il *gap* di prezzari tematici per le DEAm.

Questo approccio di valutazione integrata è finalizzato ad essere di utilità decisionale per la Pubblica Amministrazione, così come di utilità professionale, semplice e replicabile per molteplici

¹ LUN n. 1150/1942 - Legge Urbanistica Nazionale <https://www.normattiva.it/>

² D.lgs n. 152/2006 - Testo Unico dell’Ambiente <https://www.normattiva.it/>

³ Regione Emilia-Romagna (2015). La strategia di mitigazione e adattamento per i cambiamenti climatici. <https://ambiente.regione.emilia-romagna.it/>

⁴ Regione Emilia-Romagna (2017). LUR Emilia-Romagna n. 24/2017 - Legge Urbanistica Regionale dell’Emilia-Romagna “Disciplina regionale sulla tutela e l’uso del suolo” che sostituisce la precedente LR n.20/2000 <https://demetra.regione.emilia-romagna.it/>

⁵ PUG - Piano Urbanistico Generale dei Comuni di Cesena e di Montiano <https://sititematici.comune.cesena.fc.it/>

⁶ Demo ISTAT - Bilancio demografico mensile, anno 2025. <https://demo.istat.it/app/?a=2025&i=D7B>

⁷ PAESC - Piano d’Azione per l’Energia Sostenibile e il Clima del Comune di Cesena. Protocollo Delibera di C.C. n. 13/2019 <https://www.comune.cesena.fc.it/>

^{7bis} Green City Network (2021). Carta delle città verso la neutralità climatica. <https://www.greencitynetwork.it/>

⁸ Green City Accord - Clean and Healthy Cities in Europe. <https://environment.ec.europa.eu/>

⁹ Comune di Cesena (2024). Regolamento per la realizzazione e valutazione delle Dotazioni territoriali multiprestazionali e Ecologico Ambientali e delle Compensazioni Ambientali. Protocollo Approvato con delibera di Consiglio Comunale n. 21 del 18-04-2024. <https://www.comune.cesena.fc.it/>

figure professionali, dal tecnico comunale al libero professionista della macroarea dell'ingegneria edile-architettura e della pianificazione urbanistica e territoriale (Figura 1).

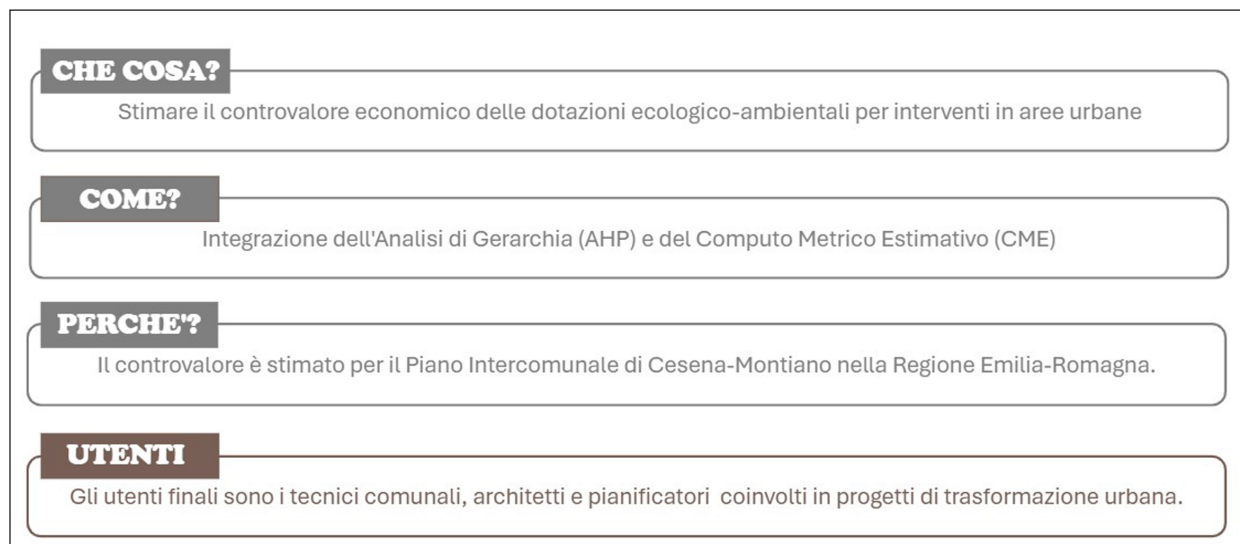


Figura 1. Inquadramento del problema decisionale.

2. Le Dotazioni Ecologico-Ambientali del PUG Intercomunale Cesena-Montiano

Le Dotazioni Ecologico-Ambientali sono definite dall'art. 5.5.3 delle Norme del PUG come "L'insieme degli spazi, delle opere e degli interventi che concorrono, insieme alle infrastrutture per l'urbanizzazione degli insediamenti, a contrastare i cambiamenti climatici".

Il significato strutturale delle DEAm è stato ispirato dalle recenti pubblicazioni che delineano strategie e azioni di adattamento al cambiamento climatico a livello europeo e nazionale, tra cui lo Standard Globale per Soluzioni Basate sulla Natura¹⁰ (2020), l'*Handbook for Practitioners* (2021)¹¹, le Linee guida del MASE per la gestione del verde¹² (2017), le Linee guida del progetto SOS4LIFE per migliorare la resilienza ai cambiamenti climatici negli interventi di rigenerazione urbana¹³ (2020), Rigenerare la città con la natura¹⁴ (2017), oltre ad una serie di piattaforme, come Urban Nature Atlas¹⁵, OPPLA¹⁶, ThinkNature¹⁷ e Smart Cities Marketplace¹⁸, che permettono di esplorare e approfondire l'applicabilità di strategie e azioni in contesti urbani specifici. Inoltre, il corso SBAM - Scuola di progettazione Bioclimatica per l'Adattamento e la Mitigazione¹⁹ (2023), un'iniziativa sviluppata da ANCI Emilia-Romagna e dall'Agenzia per lo Sviluppo Sostenibile (AESS) per supportare le Municipalità nell'attuazione di strategie e azioni "nature based" a beneficio de: (i) il microclima,

¹⁰ IUCN (2020). Global Standard for Nature-based Solutions. A user-friendly framework for the verification, design and scaling up of NbS. First edition. Gland, Switzerland: IUCN. ISBN 978-2-8317-2058-6, DOI: 10.2305/IUCN.CH.2020.08.en

¹¹ UN - United Nations (2021). Evaluating the impact of nature-based solutions. A handbook for practitioners. <https://op.europa.eu/en/>

¹² MASE - Ministero dell'ambiente del territorio e del mare. Comitato per lo sviluppo del verde pubblico (2017). Linee guida per la gestione del verde urbano e prime indicazioni per una pianificazione sostenibile. <https://www.mase.gov.it/>

¹³ Emilia-Romagna (2020). Progetto SOS4LIFE - Liberare il suolo - Linee guida per migliorare la resilienza dei cambiamenti climatici. <https://territorio.regione.emilia-romagna.it/>

¹⁴ Emilia-Romagna (2017), in collaborazione con Politecnico di Milano. Progetto REBUS - Rigenerare la città con la natura - Strumenti per la progettazione degli spazi pubblici tra mitigazione e adattamento ai cambiamenti climatici. Maggioli Editore. <https://territorio.regione.emilia-romagna.it/>

¹⁵ Progetto NATURANCE. Urban Nature Atlas. <https://una.city/>

¹⁶ Progetto OPPLA. <https://oppla.eu/>

¹⁷ Progetto ThinkNature. <https://cordis.europa.eu/project/id/730338>

¹⁸ Smart Cities Marketplace. <https://smart-cities-marketplace.ec.europa.eu/>

¹⁹ ANCI Emilia-Romagna. SBAM! Scuola di progettazione Bioclimatica per l'Adattamento e la Mitigazione <https://www.anci.emilia-romagna.it/formazione/sbam-scuola-di-progettazione-bioclimatica-per-ladattamento-e-la-mitigazione-2-edizione/>

(ii) la qualità degli spazi urbani verdi; (iii) la gestione delle acque piovane, (iv) i materiali permeabili, e (v) l'integrazione di infrastrutture per la mobilità integrata e sistemica.

Per comprendere le prestazioni operative delle DEAm, che rappresenta tra l'altro una delle sfide principali che concerne la progettazione e l'implementazione in senso più ampio delle *Nature-Based Solutions* (NBS) (Moosavi, 2022), il Regolamento del PUG prevede un Abaco di soluzioni DEAm che raccoglie progettualità virtuose del panorama internazionale e ritenute compatibili dalla Municipalità rispetto alle caratteristiche territoriali di Cesena-Montiano. Le soluzioni sono raggruppate in quattro macro-categorie: (1) "superfici permeabili", distinte ulteriormente in "superfici permeabili continue" (es. pavimentazioni porose) e "superfici permeabili modulari" (es. grigliati in ghiaia e/o erbosi). Il loro impiego favorisce l'infiltrazione dell'acqua nel sottosuolo e contribuisce alla riduzione degli effetti dell'isola di calore, oltre al trattenimento di sostanze inquinanti (es. olio, metalli pesanti); (2) "acqua" si riferisce ai "sistemi di drenaggio" che contribuiscono a ridurre la velocità del deflusso meteorico, migliorando la qualità delle acque e la pressione delle acque bianche nere e grigie, e ai "sistemi di raffrescamento evaporativo" finalizzati a migliorare la vivibilità urbana durante le ondate di calore, raffreddando passivamente l'aria tramite l'evaporazione dell'acqua. (3) "vegetazione" intesa come prati, alberature e tetti verdi. Contribuiscono a migliorare la prestazione energetica degli edifici, alla riduzione delle emissioni CO₂ e alla riduzione della temperatura grazie all'ombreggiamento e all'evapotraspirazione nel contesto architettonico-urbano. Inoltre, favoriscono la formazione di microhabitat fondamentali per la produzione di servizi ecosistemici urbani (es. impollinazione). Infine, (4) le "tecnologie integrate" si riferiscono all'arredo urbano (es. panchine con fioriere incorporate) e a servizi annessi alle infrastrutture di trasporto (es. colonnine per la riparazione delle bici). Queste sono caratterizzate dall'impiego di materiali a basso impatto ambientale al fine di aumentare la qualità degli spazi pubblici esterni e la mobilità dolce e sostenibile.

L'Abaco riporta per ogni soluzione sezioni e planimetrie progettuali (Figura 2). Per ulteriori approfondimenti sulle caratteristiche delle dotazioni si invita alla consultazione del Regolamento DCC n.21/2024 del PUG di Cesena-Montiano.



Figura 2. Classificazione delle Dotazioni Ecologico-Ambientali (DEAm) (Elab. degli autori da DCC n. 21/2024).

Il Regolamento stabilisce che le DEAm siano da destinare alla realizzazione di interventi “diretti”, riferendosi a interventi di nuova costruzione, riqualificazione, rigenerazione e rifunzionizzazione. L'intervento diretto è collocato dallo stesso Regolamento in tre casistiche distinte: (i) all'interno dell'area di intervento; (ii) nell'immediata prossimità dell'area di intervento; (iii) in aree già individuate dal Piano e che risultino carenti di verde pubblico e/o di parcheggi pubblici.

2.1 La disciplina della monetizzazione e la stima del Controvalore Economico

La nuova disciplina della monetizzazione, regolata dall'art. 5.5.3 del Nuovo Regolamento per l'implementazione e la valutazione di dotazioni ecologiche e ambientali multi-prestazionali e compensazioni ambientali (DCC n. 21 del 18/04/2024), attribuisce, oltre al costo medio unitario del verde pubblico (41 euro/mq) e dei parcheggi pubblici (142 euro/mq), un costo medio unitario delle dotazioni ecologico-ambientali (DEAm) pari a 92 euro/mq. Il Regolamento stabilisce il valore delle DEAm su base comunale, in modo che ogni intervento diretto possa contribuire equamente alla città pubblica, considerato che il PUG stabilisce già le quantità sia in base all'uso con le tabelle sulle dotazioni, sia al tipo di intervento. Le quantità variano in funzione dei tessuti, in base alla “potenzialità edificatoria” (che nel PUG è espressa come massimo ingombro e area per dotazioni).

Un costo medio ponderato per tessuto potrebbe essere calato nelle singole situazioni locali ma comporterebbe il rischio di creare disuguaglianze tra quartieri simili come valore, ma differenti come qualità urbana, disincentivando così il recupero nelle aree più marginali. Per esempio, un intervento residenziale in un quartiere poco dotato per l'aspetto delle DEAm e di scarso pregio immobiliare, potrebbe pagare un contributo più alto per le DEAm rispetto ad un quartiere centrale molto verde e di alto pregio immobiliare.

Il Regolamento richiede al professionista di stimare un controvalore economico (CVE) nelle tre casistiche sopra descritte per supportare efficacemente l'implementazione delle DEAm (Eq. 1).

$$CVE = AD \text{ (in mq)} \cdot VB(\text{€/mq}) \quad (1)$$

dove (i) AD indica la superficie in mq delle Altre Dotazioni, che corrispondono alle Dotazioni Ecologico-Ambientali (DEAm) e a quelle che prevedano il versamento di un contributo per l'Edilizia Residenziale Sociale (ERS), (ii) VB si riferisce al Valore economico monetario Base per unità di superficie della singola dotazione.

Inoltre, il Computo Metrico Estimativo (CME) è indicato dal Regolamento come lo strumento principale di valutazione economica per determinare il CVE.

3. Metodologia

3.1 Computo Metrico Estimativo

In un processo di trasformazione è fondamentale determinare la fattibilità tecnico-economica di un intervento per assicurare al promotore il successo dell'operazione, in tutte le sue fasi, minimizzando al contempo il rischio dell'esposizione all'investimento finanziario.

L'esito della fattibilità tecnico-economica deriva dalla progettazione tecnica e della valutazione economica di scenari progettuali alternativi, inclusa l'opzione zero, allo scopo di individuare l'alternativa progettuale più soddisfacente, in termini economico-finanziari per il massimo profitto, nel caso di progettazione privata, e in termini economico-sociali e ambientali nella progettazione pubblica per il miglioramento della qualità della vita urbana.

La IUCN (IUCN, 2020) ha rimarcato la necessità di valutare la convenienza economico-finanziaria delle progettualità *nature-based* in relazione alle componenti tecniche e al contesto architettonico-urbano. Un approccio parametrico di stima del costo rappresenta un metodo standardizzato ideale per restituire un costo medio dell'implementazione del progetto *nature-based*.

La realtà pratica però dimostra che la descrizione del progetto e delle opere annesse non siano sufficienti per adattare l'approccio parametrico alle specificità del contesto (Le Coent et al., 2021). Ad oggi vi è un numero limitato di studi che impiegano un approccio di valutazione analitica che

integrino i prezziari *ad hoc* per il contesto di riferimento, le caratteristiche tecniche e le informazioni sulle fasi di costruzione del progetto (Sikorska, Macegoniuk, Łaskiewicz & Sikorski, 2020).

Una ricognizione recente dello stato dell'arte sugli strumenti specifici per la stima dei costi lungo il ciclo di vita delle NBS (Datola, Ghisoni, Dell'ovo & Oppio, 2025, e i riferimenti all'interno) ha messo in evidenza che la *Work Breakdown Structure* (WBS) rappresenti un valido strumento per la progettazione e la gestione di tutte le componenti del progetto associate ai rispettivi costi per la realizzazione, lungo tutto il ciclo di vita, includendo anche i costi di manutenzione e di fine vita. In questo senso, il costo totale dell'opera è una delle variabili chiave che incidono sull'ampiezza della forbice della fattibilità. Maggiore sarà il costo, minori saranno i ricavi o i benefici producibili. Minore sarà il costo, maggiori saranno i ricavi o i benefici.

La stima del valore di costo può avvenire attraverso l'impiego del Computo Metrico Estimativo (da qui in avanti, CME) (RICS, 2021), il cui livello di dettaglio è strettamente dipendente dalla fase di progettazione. Per maggiore chiarezza, vengono riportati tre casi esemplificativi:

1. Il progetto è appena un preliminare. Il valutatore può ricorrere alla stima parametrica del costo, per esempio per elementi funzionali, individuando almeno un progetto con caratteristiche e quantità simili, adattando i suoi costi alle quantità del progetto da stimare, attraverso un set di coefficienti correttivi;
2. Il progetto è un definitivo. Il valutatore può ricorrere ad una stima mista del costo, sia parametrica sia analitica, allo scopo di compensare alcune voci che potrebbero essere soggette a modifica e/o sostituzione;
3. Il progetto è un esecutivo. Il valutatore ricorre ad una stima analitica del costo attraverso il CME, misurando le quantità dettagliate e le lavorazioni del progetto per i rispettivi costi. In questa fase, si suggerisce di sviluppare una *Work Breakdown Structure* (WBS) (Globerson, 1994) per scomporre l'intervento a cascata, in parti più semplici, dai costi direttamente riconducibili alla realizzazione dell'opera (es. demolizioni, fondazioni, ecc.) ai costi della cantierizzazione (es. ponteggi, noleggio veicoli, ecc.) e agli oneri per la sicurezza. Una stima rigorosa dei costi equivarrà ad un rischio finanziario più basso per il committente. Infatti, una verifica dei calcoli a ritroso e l'inclusione di una voce "imprevisti" nel CME è raccomandato per risolvere problemi che potrebbero accadere in fase di cantierizzazione. Una demolizione non preventivata può incidere sensibilmente sul valore di costo e sull'investimento erogato.

Bisogna precisare che nel recente aggiornamento del Codice dei Contratti Pubblici²⁰ (v. sezione "Programmazione e progettazione") sono stati esplicitati soltanto due livelli di progettazione: il Piano di Fattibilità Tecnico-Economica (PFTE) e il Piano Esecutivo (PE), in cui il livello di dettaglio della stima passa dall'analisi dei costi e dal quadro economico al CME. Tra i criteri per l'assegnazione dell'appalto pubblico, quello più rilevante è l'offerta economicamente più vantaggiosa, con la possibilità di utilizzo del criterio del massimo ribasso. Un aspetto rilevante è quello di non sfiorare l'importo prestabilito dalla gara d'appalto.

Gli step metodologici del CME sono sintetizzati come segue:

1. Inquadramento del contesto decisionale e di progettazione (pubblica, privata, pubblica-privata), dei *desiderata* del committente e degli *stakeholders* e verifica delle condizioni economico-finanziarie per l'erogazione dell'investimento per una data tipologia di intervento (es. Manutenzione ordinaria o straordinaria);
2. Sviluppo del Computo Metrico, a sua volta distinguibile in tre sotto-fasi:
 - Scomposizione del progetto in parti elementari e omogenee, ricorrendo ad esempio alla *Work Breakdown Structure* (WBS);

²⁰ Codice dei Contratti Pubblici - D.lgs n.36/2023, aggiornato dal D.lgs n. 209/2024 - Disposizioni integrative e correttive al codice dei contratti pubblici, di cui al decreto legislativo 31 marzo 2023, n. 36. (24G00231), aggiornato poi dal Correttivo 2025 (D.Lgs. n. 205/2024) fino al Decreto Infrastrutture (D.L. n. 73/2025 e s.m.i.) <https://www.normattiva.it/>

- Determinazione dei criteri di misurazione, che può essere facilitata ricorrendo al sistema di classificazione, merceologico o tecnologico. Nell'ambito della progettazione pubblica, in Italia, i prezziari regionali sono definiti secondo il criterio merceologico; dunque, la WBS si presta molto bene. Il criterio tecnologico segue le norme UNI e ISO (es. ISO12006-2 "*Building construction - Framework for classification*", ISO12006-3 "*Building construction - Framework for object oriented information*", UNI 8290-2:1983 "Edilizia residenziale. Sistema tecnologico. Analisi dei requisiti"), che hanno generato classificazioni come OMNICLASS per la modellazione BIM e l'assistenza all'intero ciclo di produzione;
 - Misurazione e descrizione delle quantità. Questa fase dipende sia dalla fase di progettazione sia dal livello di esperienza del progettista/del valutatore. La misurazione può avvenire, in una fase preliminare "a spanne" per restituire al committente un ordine di grandezza dei costi da sostenere, oppure in maniera analitica e puntuale nelle fasi successive;
3. Determinazione dei prezzi unitari. Le voci del prezziario che rappresentano le quantità e le lavorazioni del progetto vengono inserite all'interno dell'Elenco Prezzi (EP), un documento di carattere informativo che deve essere necessariamente presentato insieme al CME. In linea generale, i prezzi unitari sono consultabili nei prezziari (es. regionali, comunali), nei listini tipologici (es. DEI del Genio Civile, Camera di Commercio) e nelle analisi prezzi basate su preventivi dei fornitori. In ambito pubblico, è fondamentale seguire le indicazioni della gara d'appalto, come ad esempio quale prezziario regionale delle opere pubbliche adottare per la stima del costo del progetto;
 4. Calcolo dei costi parziali e del costo totale del progetto. Completate le quantità e i prezzi unitari di tutte le lavorazioni, è possibile sommare le voci appartenenti a ciascun livello della WBS per ottenere i costi parziali, a loro volta sommati per determinare il costo totale del progetto (Eq. 2):

$$C_{tot} = \sum Q_i \cdot Pu_i \quad (2)$$

dove (i) C_{tot} è il costo totale del progetto; (ii) Q_i è la quantità i-esima del materiale o della lavorazione, e (iii) Pu_i è il prezzo unitario della quantità del i-esimo materiale o della i-esima lavorazione.

3.2 Analisi multicriteri (AMC)

La famiglia delle Analisi Multicriteri (*Multicriteria Analysis* - MCA) prevede numerose tecniche valutative, la cui scelta dipende strettamente dalla natura del problema decisionale da risolvere (Greco, Ehr Gott & José Rui Figueira, 2016; Oppio, Bottero & Arcidiacono, 2018): (i) *ranking* per ordinare soluzioni alternative dalla più rilevante alla meno rilevante; (ii) *sorting* per assegnare un alto numero di alternative in classi predefinite e ordinate; (iii) *choice* per valutare una o una selezione di alternative considerate le migliori; (iv) *description* basate sulla descrizione delle caratteristiche di ciascuna alternativa. L'*Analytic Hierarchy Process* (AHP) è una delle più note e applicate in ambito scientifico e tecnico-professionale.

3.2.1 Analytic Hierarchy Process (AHP)

L'AHP è una tecnica MCA di tipo *ranking*, introdotta dal matematico statunitense T. Saaty nel campo delle scienze strategiche (T. L. Saaty, 1977). Grazie alla crescente sensibilità verso i temi dei limiti della crescita e la disponibilità limitata delle risorse (Rovers, 2019), l'AHP è stata usata in passato e continua ad essere impiegata nel presente per risolvere problemi legati alla trasformazione sostenibile della città e del territorio.

Per esempio, (Hamurcu & Eren, 2020) e successivamente (Silva, Santos & Setti, 2022) applicano

la AHP per pesare i criteri per misurare la mobilità sostenibile e integrano successivamente i risultati in TOPSIS per proseguire con la prioritizzazione di progettualità di mobilità urbana; (Awad & Jung, 2022) hanno condotto uno studio per attribuire dei pesi ad elementi pianificatori per la rigenerazione urbana sostenibile. Gli stessi autori hanno successivamente condotto un'indagine (Jung & Awad, 2023) i cui dati sono stati elaborati mediante la AHP per supportare l'implementazione di un Piano urbanistico. (Yaralioglu & Kara, 2024) hanno applicato l'AHP per stabilire la priorità dei parametri del SDG 11 per la progettazione di spazi pubblici sostenibili. (Singh & Marwaha, 2025) hanno scelto l'AHP per identificare fattori chiave che ostacolano l'abitare sostenibile e nello specifico le politiche abitative a favore dei lavoratori.

Nonostante questi riferimenti scientifici siano riferiti ad un arco temporale ristretto, è possibile riconoscere l'AHP quale tecnica ideale per valorizzare la valutazione economica e strategica del piano/programma/progetto, garantendo da un lato la trasparenza grazie al coinvolgimento degli stakeholders nella pesatura, e dall'altro lato, la robustezza interna ed esterna del processo valutativo.

L'AHP permette di scomporre un problema secondo una gerarchia costituita da un singolo obiettivo e da un numero limitato di criteri, di sotto-criteri e di alternative. L'AHP consente di valutare la rilevanza di coppie di elementi gerarchicamente, elicitando le preferenze degli esperti coinvolti nel processo decisionale.

La valutazione richiede un set di scenari alternativi, comprendendo l'opzione zero, cioè il mantenimento delle stesse condizioni attuali e agli stessi costi. Per garantire il successo dell'AHP, si raccomanda la fase di co-progettare di scenari alternativi con gli stakeholders, cosicché tutti i partecipanti possano manifestare i propri *desiderata*. In questo senso, si ricorre sempre più spesso a integrare lo *scenario building* e forme di *storytelling*, valorizzabili mediante sistemi di *Virtual Reality* (VR) per favorire un approccio di co-pianificazione/co-progettazione delle soluzioni *place-based* (Amer, Daim & Jetter, 2013; Apollonio, Fallavollita, Foschi & Smurra, 2024; Godet, 2000). La *Work Breakdown Structure* (WBS) (Cicala, 2020) impiegata nel *project management* e associabile al CME, possiede la stessa capacità di scomposizione del problema della AHP, ma tra le due solo quest'ultima prosegue oltre la gerarchizzazione, arrivando al *core* della valutazione:

1. Costruzione di una matrice di performance con i valori espressi dai singoli sotto-criteri in relazione ai criteri superiori;
2. Normalizzazione, necessaria per confrontare tutti i valori degli elementi su una scala adimensionale nell'intervallo [0-1]. Diversi studi sugli effetti delle tecniche di normalizzazione affermano che alcune hanno maggior efficacia rispetto ad altre per la classificazione delle alternative sull'asse del beneficio o del costo, in particolare: i) normalizzazione lineare (massima & massimo-minimo & somma), ii) normalizzazione vettoriale, iii) normalizzazione logaritmica. Per maggiori approfondimenti vedasi (Çelen, 2014; Vafaei, Ribeiro & Camarinha-Matos, 2016).

$$AW = \lambda^{max}W \quad (3)$$

dove (i) A rappresenta la matrice quadrata in cui confluiscono i valori degli elementi che costituiscono il modello, (ii) W è l'autovettore contenuto nella medesima matrice, e (iii) λ^{max} è l'autovettore massimo corrispondente a λ che determina la sua rilevanza rispetto agli altri elementi del modello;

3. Pesatura degli elementi della gerarchia per elicitare le preferenze degli esperti e per la successiva sintesi dei risultati. È fondamentale coinvolgere un panel di esperti multidisciplinare in una *survey* (es. intervista, questionario, o focus group). Ciascuna domanda richiede di esprimere la propria preferenza, seguendo il principio del confronto a coppie di elementi, ed il livello di intensità, attraverso uno dei valori numerici della Scala di Saaty [1-9]. Per maggiori informazioni V. (R. W. Saaty, 1987). La pesatura avviene i) a livello dei criteri rispetto al goal; ii) a livello dei sotto-criteri rispetto al criterio di appartenenza; iii) a livello delle alternative rispetto ai sotto-criteri e viceversa. Infine, i

valori numerici stabiliti dai singoli esperti costituiranno una matrice quadrata di confronto a coppie degli elementi, per ogni livello della gerarchia. Poiché si opera in condizioni di razionalità vincolata, le matrici devono soddisfare un Rapporto di Consistenza $\leq 10\%$ (RC), tale da garantire valutazioni coerenti (Eq. 4).

$$IC = \frac{\lambda^{max} - n}{n - 1}, \quad RC = \frac{IC}{IR} \leq 0 \quad (4)$$

dove (i) IC è l'indice di consistenza (ii) λ^{max} è l'autovettore massimo della matrice di confronto a coppie; (iii) n è la dimensione della stessa matrice, (iv) IR è un indice di consistenza casuale calcolato come valore medio di IC considerando tante matrici casuali di ordine n .

Di fronte a un RC superiore alla soglia di accettabilità, l'importanza relativa di ciascun elemento dovrà essere rivisitata dal rispondente per migliorare la coerenza del giudizio (Brunelli, 2018). Per esempio, un panel di partecipante a un *focus group* potrebbe trovarsi in disaccordo. Ognuno di loro dovrà difendere le proprie ragioni cercando al contempo di raggiungere un compromesso con gli altri. Nel caso in cui non si riuscisse a trovare un compromesso, il mediatore potrà ricorrere per esempio alla media democratica. Esistono, comunque, altre procedure di pesatura che supportano le MCA di tipo *ranking*, come ad esempio SWING, *Deck-Cards Method* di Simos, Figueira e Roy (DCM-SRF) oppure *Simple Multi-Attribute Rating Extended to Ranking* (SMARTER) e le rispettive estensioni (Corrente, Figueira & Greco, 2021; Greco et al., 2016; Mustajoki, Hämäläinen & Salo, 2005).

4. Aggregazione pesata (Eq. 5) dei valori normalizzati dei sotto-criteri con i pesi assegnati dagli esperti rispetto al criterio genitore, seguita dalla successiva aggregazione degli indici parziali ottenuti moltiplicati per i pesi dei criteri con riferimento al goal.

$$\lambda^{max} = \sum_{i=1}^n \left(\sum_{j=1}^n r_{ij} \right) w_{ij} \quad (5)$$

dove (i) r_{ij} si riferisce al valore espresso dal criterio i -esimo rispetto ai criteri j -esimi e (ii) w_{ij} è la rilevanza del criterio i -esimo rispetto ai criteri j -esimi.

5. Sintesi dei risultati globali aggregati in una graduatoria finale per determinare la rilevanza di ciascuna alternativa. Qualora vi siano più esperti che partecipano alla valutazione, i risultati dovranno confluire in un'AHP complessiva, impiegando la media aritmetica oppure la media geometrica del set di pesi per ridurre ulteriormente le inconsistenze dei giudizi (Aguarón, Escobar & Moreno-Jiménez, 2021);
6. Analisi di sensitività, utile per convalidare i risultati ottenuti basandosi sugli approcci deterministici (es. "One-at-a-Time" oppure "What... If..."). Massimizzando la rilevanza di un criterio alla volta, minimizzando gli altri criteri è utile per identificare potenziali variazioni nella classifica finale delle alternative e individuare i criteri più influenti (Brunelli & Cavallo, 2020) o le potenziali implicazioni per scenari differenti (Carvalho & Belo, 2020). Il valutatore può utilizzare un software di decision-making come supporto alle elaborazioni dell'AHP, tra i più noti, ExpertChoice o Superdecisions²¹.

4. Applicazione

4.1 Elaborazione del CME

Al fine di determinare il Controvalore Economico (CVE) da applicare per le Dotazioni Ecologico Ambientali (DEAm) nei casi previsti dallo strumento urbanistico, sono state analizzate preliminarmente le soluzioni progettuali per l'adattamento climatico contenute nell'Abaco del Regola-

²¹ Software ExpertChoice <https://www.expertchoice.com/>
Software SuperDecisions - Creative Decisions Foundation <https://www.superdecisions.com/>

mento del PUG di Cesena. Per ciascuna soluzione progettuale ci si è prefisso di redigere un Computo Metrico Estimativo (CME) ed individuare il costo parametrico, espresso in unità di superficie, così da poterne elaborare un confronto.

Per ciascuna soluzione, l'Abaco fornisce una sezione costruttiva con specificazione dei materiali e indicazione degli spessori o profondità. È stato elaborato il computo metrico di un'unità caratteristica (1 mq) di ogni soluzione proposta. Questo approccio è valido, ad esempio, per interventi che interessano le superfici, come 1 mq di prato fiorito o 1 mq di pavimentazione drenante.

Qualora la soluzione progettuale presente nell'Abaco richieda uno sviluppo più ampio con l'impossibilità di definire in origine un costo riferito ad 1 mq di superficie, il computo delle quantità tiene conto della complessità delle lavorazioni necessarie per realizzare una unità dell'opera, come ad esempio un pozzo drenante capace di raccogliere una certa quantità di metri cubi d'acqua oppure un metro lineare di filare alberato. Una volta completato il computo delle quantità e applicati i costi unitari di riferimento il CME restituisce il costo totale. Il costo totale è quindi reso parametrico rispetto alla superficie di riferimento.

Le superfici di riferimento sono state verificate con il Settore Governo del Territorio. Per le soluzioni progettuali in cui l'individuazione della superficie di riferimento non è direttamente individuabile a causa della complessità dell'intervento ci si è riferiti alle prescrizioni tecniche del "Regolamento per la realizzazione delle opere di urbanizzazione e relativa cessione" del Comune di Cesena. Un caso è quello dei portabiciclette. In assenza di un progetto è stato fatto riferimento alla superficie minima di 500 mq in cui è necessario prevederne il posizionamento. Nei casi in cui nelle sezioni tipologiche esposte nell'Abaco non sono esplicitate le dimensioni degli elementi da computare, si è proceduto ad una quantificazione puntuale utilizzando un adeguato rapporto di scala. In tutti i computi metrici elaborati sono stati considerati gli oneri per la sicurezza, quantificati in misura del 5% del costo di produzione.

La redazione di un CME richiede l'applicazione dei costi unitari alle quantità di opere/lavorazione presenti. Per ciascuna opera/lavorazione le quantità ed i costi parametrici sono espressi nell'unità di misura caratteristica (es. euro/mq, euro/mc, ecc.).

La principale fonte informativa utilizzata è l'Elenco regionale dei prezzi delle opere pubbliche, pubblicato dalla Regione Emilia-Romagna²². Con la Deliberazione di Giunta n. 2342 del 23 dicembre 2024²³, in accordo con il Provveditorato Interregionale per le Opere Pubbliche di Lombardia e Emilia-Romagna, è stata approvata la nuova edizione del prezzario, in vigore dal 1° gennaio 2025.

Per alcune lavorazioni non presenti nel prezzario dell'Emilia-Romagna, è stato utilizzato il prezzario della Provincia Autonoma di Bolzano²⁴ rappresentando il riferimento più completo in Italia per le tipologie di opere in esame. In subordine, per le peculiarità di alcune soluzioni progettuali, si è fatto ricorso a CME di opere pubbliche e a listini ufficiali di prodotti disponibili sul mercato.

Con riferimento a queste fonti informative, si riporta come caso esemplificativo i moduli per impollinatori destinati alla realizzazione di aiuole attrattive per insetti, uccelli, rettili e piccoli mammiferi, utili per aumentare la biodiversità di parchi e giardini (Tabella 1.a). La fornitura delle arnie è stata stimata considerato un costo medio desunto dai prezzi di diversi modelli disponibili nel sito internet di un produttore. Per quanto concerne invece il costo della messa a dimora di piante attrattive per gli impollinatori, al fine di definire il costo medio di una varietà adeguata di specie vegetali, si è fatto riferimento al computo metrico estimativo di un progetto di bioparco apistico (Tabella 1.b). Quando non è stato possibile rinvenire nel prezzario regionale le voci di costo

²² Regione Emilia-Romagna (2025). Prezzario regionale delle opere pubbliche. <https://territorio.regione.emilia-romagna.it/notizie/attualita/2025/pubblicato-elenco-regionale-dei-prezzi-delle-opere-pubbliche-2025>

²³ Regione Emilia-Romagna (2024). Delibera della Giunta regionale n. 2342 del 23/12/2024 https://servizissir.regione.emilia-romagna.it/deliberegiunta/servlet/AdapterHTTP?action_name=ACTIONRICERCADELIBERE&operation=leggi&cod_protocollo=GPG/2024/2468&ENTE=1

²⁴ Provincia di Bolzano (2024). Prezzario Lavori 2024, approvato con Delibera di Giunta Provinciale n. 1157 del 29/11/2023 successivamente aggiornata con la Delibera n. 38 del 9 febbraio 2024. <https://prezzario.provincia.bz.it/2024>

necessarie a quantificare specifiche lavorazioni a causa della loro eccessiva specializzazione, si è reso necessario procedere con l'elaborazione di analisi dei prezzi.

Questo approccio ha permesso di definire in modo dettagliato il costo delle lavorazioni. Il costo è stato determinato partendo dal costo medio di fornitura, estrapolato dai listini ufficiali pubblicati sui siti internet dei produttori. Al costo della fornitura è stato sommato il costo della posa in opera, stimato tenendo conto sia delle ore ordinariamente necessarie per l'esecuzione della lavorazione che del costo medio orario della manodopera. Poiché le analisi elaborate afferiscono a forniture e posa in opera di elementi semplici, si è ritenuto di non considerare incrementi per noli e trasporti di attrezzature specifiche.

Il costo della fornitura e posa in opera calcolato è stato maggiorato delle spese generali e dell'utile d'impresa, quest'ultimo computato anche sulle spese generali. L'incidenza delle spese generali e dell'utile d'impresa è desunta dal prezario delle opere edili della Regione Emilia-Romagna, che prevede una quota per spese generali del 16% e un utile dell'impresa del 10%. L'applicazione delle due percentuali comporta un incremento complessivo del 27,6%.

I prezzi unitari così ottenuti sono stati quindi inseriti nei computi metrici e applicati alle quantità previste.

Per ciascuna sotto-categoria sono quindi individuati il costo minimo, massimo ed il costo medio (Tabella 3). Il costo medio così calcolato sarà impiegato per l'applicazione della incidenza stimata per ciascuna categoria per mezzo dell'*Analytic Hierarchy Process* (AHP) di cui riferisce il successivo paragrafo 4.2 (Tabella 4).

Tabella 1a. Computo metrico delle aiuole naturali per impollinatori

ID	Lavorazione	Larghezza.	Lunghezza	Profondità/ Altezza	Superficie	Volume	U.M.	Quantità	Totale
		m	m	m	mq	mc		n.	n.
C01.001.005.a	Scavo di sbancamento	1,00	1,00	0,35	1,00	0,35	mc	1,00	0,35
C01.010.005.a	Trasporto materiale a discarica	1,00	1,00	0,35	1,00	0,35	mc/k	1,00	0,35
C04.109.085	Terreno vegetale	1,00	1,00	0,30	1,00	0,30	mc	1,00	0,30
Stima	Aromatiche e officinali attrattive per le api						cad.	15,00	15,00

Tabella 1b. Computo metrico delle aiuole naturali per impollinatori

ID	Lavorazione	U.M.	Quantità	P. Unitario	Totale
			n.	euro/u.m.	euro
C01.001.005.a	Scavo di sbancamento	mc	0,35	5,36	1,88
C01.010.005.a	Trasporto materiale a discarica	mc/km	0,35	1,03	0,36
C04.109.085	Terreno vegetale	mc	0,30	7,48	2,24
Stima	Aromatiche e officinali attrattive per le api	cad	15,00	8,53	127,90
Totale lavorazioni (fornitura e posa in opera)		euro			132,38
Oneri per la sicurezza		%	5,00%	132,38	6,62
Totale costo di costruzione		euro			139,00
Quantità		mq	1,00		
Costo unitario		euro/mq			139,00

Tabella 2. Dotazioni Ecologico Ambientali. Costi medi unitari delle soluzioni progettuali

Criteria	Sotto-criteri	Cod.	Soluzioni progettuali	Costo unitario euro/mq		
Superfici permeabili	Permeabili continue	1.1.1	Terreno stabilizzato	Pavimentazione naturale drenante	21,24	
		1.1.2	Ghiaia	Superficie naturale filtrante	26,48	
		1.1.3	Calcestre	Superficie compatta drenante	40,92	
		1.1.4	Calcestruzzo drenante	Superficie resistente con alta conducibilità idraulica	30,12	
		1.1.5	Asfalto drenante	Ridurre lo scorrimento sul manto stradale e aumentare la sicurezza	55,28	
		1.1.6	Gomma antitrauma	Superficie con alta qualità di assorbimento degli impatti	102,26	
	Permeabili modulari	1.2.1	Grigliati inerbiti	Elevata resistenza meccanica preservando la permeabilità	25,88	
		1.2.2	Masselli con fughe	Combinare la necessità di superfici qualificate convogliando le acque	33,42	
		1.2.3	Masselli porosi	Disporre di superfici filtranti limitando il ruscellamento	33,26	
		1.2.4	Percorso in legno	Realizzare sentieri ad alto valore ecologico con posa a secco	113,81	
	Vegetazione	Prati	2.1.1	Prato ad elevato calpestio	Prato resistente alle sollecitazioni	6,20
			2.1.2	Prato fiorito	Prato naturale	8,65
			2.1.3	Aiuole naturali per impollinatori	Aiuole con piante aromatiche e officinali attrattive per gli impollinatori	139,00
		Alberature	2.2.1	Forestazione urbana	Migliorare l'assorbimento dell'acqua, ombreggiare, prevenire l'erosione	57,18
2.2.2			Filare alberato	Creare ombra, mitigare le temperature	44,77	
Verde pensile		2.3.1	Copertura verde	Verde pensile (struttura esclusa)	108,30	
		2.3.2	Parete verde	Verde verticale (da applicare a pareti esistenti)	252,19	
Acqua	Sistemi di drenaggio	3.1.1	Giardino della pioggia	Sistema per gestire le acque meteoriche	85,65	
		3.1.2	Pozzo infiltrante	Sistema per drenare le acque pluviali	49,75	

Segue Tabella 2. Dotazioni Ecologico Ambientali. Costi medi unitari delle soluzioni progettuali

Criteri	Sotto-criteri	Cod.	Soluzioni progettuali	Costo unitario euro/mq		
Acqua	Sistemi di drenaggio	3.1.3	Trincea infiltrante	Sistema per drenare le acque pluviali	120,38	
		3.1.4	Fossato inondabile	Sistema per drenare, laminare e filtrare le acque pluviali	100,40	
		3.1.5	Giardino roccioso	Depavimentare suoli	63,79	
		3.1.6	Giardino umido	Sistema per depurare, infiltrare e trattenere le acque pluviali	120,76	
		3.1.7	Bacino inondabile	Sistema per gestire le acque meteoriche	121,28	
	Raffrescamento evaporativo	3.2.1	Lame d'acqua	Raffrescamento e mitigazione	1.409,32	
		3.2.2	Nebulizzatori	Raffrescamento	27,37	
	Tecnologie	Arredo urbano	4.1.1	Eco-compattatori	Cestini eco-compattatori	21,44
			4.1.2	Sistemi ombreggianti (pergolato 10 mq)	Realizzare percorsi e spazi urbani freschi e ombreggiati	9,42
			4.1.3	Sedute con fioriera	Panchina	29,82
4.1.4			Arnie	Moduli per impollinatori	3,75	
4.1.5			Cisterne (26 mc)	Raccogliere le acque piovane	59,26	
Infrastrutture per la mobilità		4.2.1	Colonnine e-bike	Stazione di rifornimento per biciclette	2,74	
		4.2.2	Rastrelliere con pensilina	Favorire accessibilità e spostamenti in bicicletta	8,56	

Tabella 3. DEAm - Dotazioni Ecologico Ambientali. Costi unitari minimo, medio e massimo per ciascuna sotto-categoria

Criteri	Sotto-criteri	Cod.	Soluzioni progettuali	Min euro/mq	Media euro/mq	Max euro/mq
Superfici permeabili	Permeabili continue	1.1.1	Terreno stabilizzato	21,24	46,05	102,26
		1.1.2	Ghiaia			
		1.1.3	Calcestre			
		1.1.4	Calcestruzzo drenante			
		1.1.5	Asfalto drenante			
		1.1.6	Gomma antitrauma			
	Permeabili modulari	1.2.1	Grigliati inerbiti	25,88	51,59	113,81
		1.2.2	Masselli con fughe			
		1.2.3	Masselli porosi			
		1.2.4	Percorso in legno			

Segue Tabella 3. DEAm – Dotazioni Ecologico Ambientali. Costi unitari minimo, medio e massimo per ciascuna sotto-categoria

Criteri	Sotto-criteri	Cod.	Soluzioni progettuali	Min euro/mq	Media euro/mq	Max euro/mq	
Vegetazione	Prati	2.1.1	Prato ad elevato calpestio	6,20	51,28	139,00	
		2.1.2	Prato fiorito				
		2.1.3	Aiuole naturali per impollinatori				
	Alberature	2.2.1	Forestazione urbana	44,77	50,98	57,18	
		2.2.2	Filare alberato				
	Verde pensile	2.3.1	Copertura verde	108,30	180,25	252,19	
		2.3.2	Parete verde				
	Acqua	Sistemi di drenaggio	3.1.1	Giardino della pioggia	49,75	94,57	121,28
			3.1.2	Pozzo infiltrante			
3.1.3			Trincea infiltrante				
3.1.4			Fossato inondabile				
3.1.5			Giardino roccioso				
3.1.6			Giardino umido				
3.1.7			Bacino inondabile				
Raffrescamento evaporativo		3.2.1	Lame d'acqua	27,37	718,35	1.409,32	
		3.2.2	Nebulizzatori				
Tecnologie		Arredo urbano	4.1.1	Cestini eco-compattatori	3,75	24,73	59,26
			4.1.2	Sistemi ombreggianti (pergolato 10 mq)			
			4.1.3	Sedute collettive con fioriera			
			4.1.4	Moduli per impollinatori			
	4.1.5		Cisterne acqua piovana (26 mc)				
	Infrastrutture per la mobilità	4.2.1	Colonnine e-bike	2,74	5,65	8,56	
		4.2.2	Rastrelliere per biciclette con pensilina				

4.2 Elaborazione dell'AHP

L'obiettivo dell'*Analytic Hierarchy Process* (AHP) è finalizzata all'individuazione delle categorie più rilevanti di materiali e di soluzioni contenute nell'Abaco delle DEAm per supportare gli interventi diretti per la trasformazione urbana.

Il problema decisionale è stato strutturato mediante l'AHP, impiegando il software Superdecisions. L'albero decisionale è così costituito: l'obiettivo principale (v. sopra), collegato con le quattro categorie principali DEAm classificate dall'Abaco (criteri), a loro volta collegate con le rispettive tipologie di materiali/soluzioni (sotto-criteri). In questa valutazione, il livello delle alternative non è stato considerato, poiché l'obiettivo è quello di determinare la rilevanza delle categorie e delle tipologie di materiali/soluzioni delle DEAm (Figura 3).

Tabella 4. Strutturazione dell'albero decisionale (Elab. da Abaco del Regolamento DEAm)

Categorie DEAm (Criteri AHP)	Sotto-categorie DEAm: Materiali e Soluzioni (Sotto-criteri AHP)
Superfici permeabili	Superfici permeabili continue Superfici permeabili modulari
Vegetazione	Prati Alberature Verde pensile
Acqua	Sistemi di drenaggio Raffrescamento evaporativo
Tecnologie	Arredi urbani Infrastrutture per la mobilità

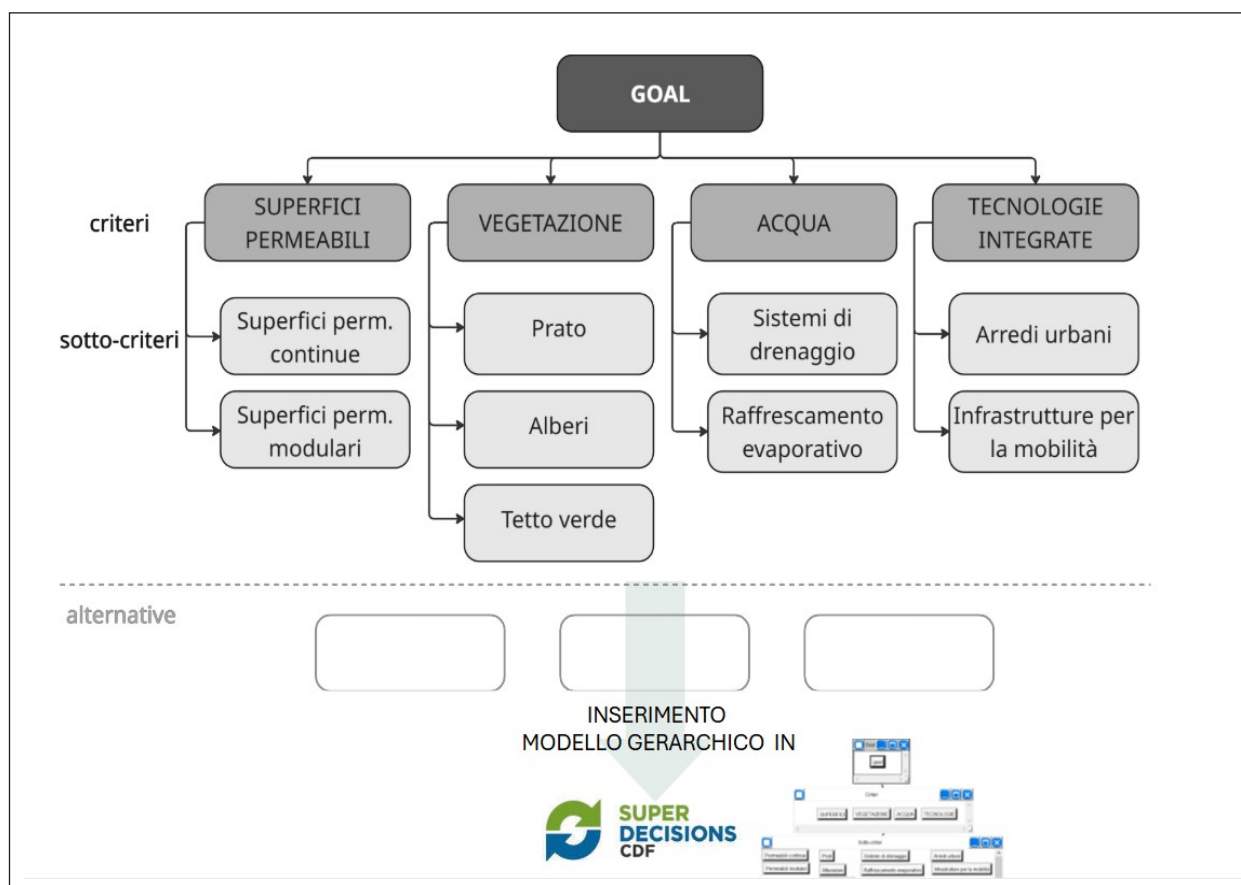


Figura 3. Impostazione del modello AHP nel Software Superdecisions.

La metodologia e il modello gerarchico sono stati presentati ad un gruppo di sei tecnici della Municipalità resi disponibili ad esprimersi in merito alla rilevanza delle categorie e delle tipologie di soluzioni DEAm. La composizione era prevalentemente di tipo tecnico. L'indagine è avvenuta nella forma di questionario a Dicembre 2024. Nella Tabella 5 è possibile constatare una presenza eterogenea di tecnici con competenza ambientale (33%) lavori pubblici (24%) e governo del territorio (17%).

La valutazione di ogni tecnico è stata importata a turno nel software Superdecisions. A scopo illustrativo, si riportano di seguito le valutazioni del tecnico del Settore Lavori Pubblici-Infrastrutture (T3), le relative matrici di confronto a coppie (Figura 4), e le priorità del modello AHP (Tabella 6).

Nella valutazione delle categorie rispetto all'obiettivo principale, il tecnico ha espresso un giudizio di rilevanza forte per le tecnologie (66%), seguito dalle superfici (17%) dall'acqua (9%) e infine dalla vegetazione (8%). Il T3 ha espresso una preferenza molto forte per le superfici continue (80%) rispetto alle superfici modulari (20%) e una preferenza forte per i sistemi di drenaggio (75%) rispetto al raffrescamento evaporativo (25%). Per quanto riguarda il verde, il T3 ha manifestato una preferenza forte per le alberature (73%) rispetto ai prati (17%) e al verde pensile (10%). Infine, per quanto riguarda le tecnologie, il tecnico ha espresso un giudizio di importanza forte per gli arredi urbani (75%) rispetto alle infrastrutture (25%).

Tabella 5. Composizione del panel dei tecnici

Quest.	T	Professione	Settori del comune	Incidenza %	Data compilazione
1	T1	Ingegnere Tecnico comunale	Settore Governo del territorio	17%	20/12/2024
2	T2	Tecnico comunale	Settore L.L.P.P. - Verde pubblico	24%	20/12/2024
3	T3	Tecnico comunale	Settore L.L.P.P. - Infrastrutture		20/12/2024
4	T4	Tecnico comunale	Settore ambiente - Valutazioni ambientali	33%	20/12/2024
5	T5	Architetto Tecnico comunale	Settore ambiente - Valutazioni ambientali		20/12/2024
6	T6	Tecnico comunale	Settore ambiente		20/12/2024
totale: 6				100%	

Verificata la consistenza dei confronti a coppie, questi sono stati elicitati in priorità vettoriali attraverso la formula dell'auto-vettore, già incorporata dentro il Software Superdecisions, così ottenendo le priorità normalizzate per ciascun criterio e le priorità limite (v. Tabella A1 e Tabella A2 dell'Appendice).

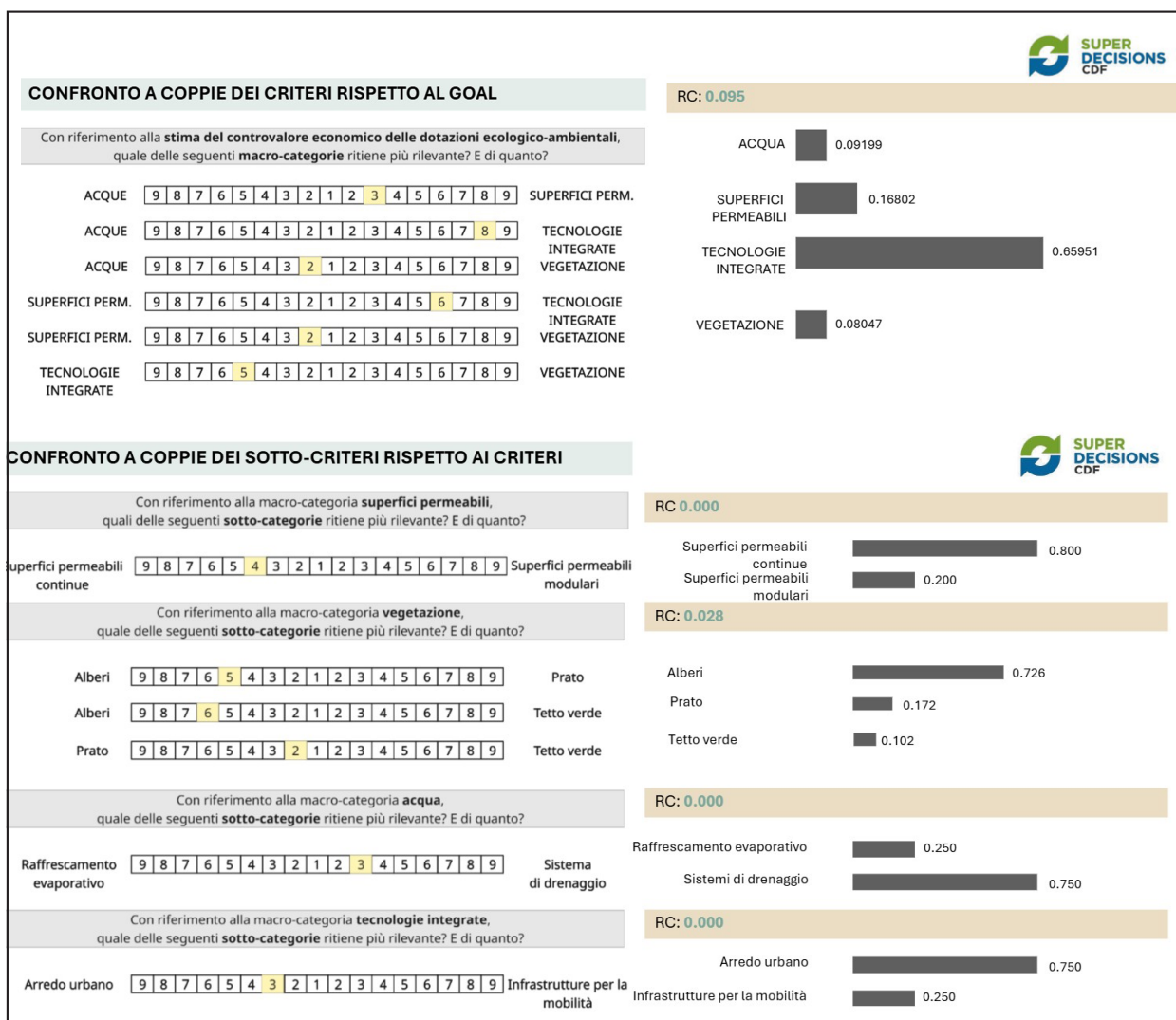


Figura 4. Estratto dei confronti a coppie forniti dal tecnico T3: (a) livello dei criteri (b) livello dei sotto-criteri

Tabella 6. Matrici di confronto a coppie riferite alla valutazione del Tecnico T3

GOAL - Livello dei Criteri		
Macro-categorie DEAm	Priorità normalizzate	Priorità idealizzate
Acque	0,13	0,26
Superfici permeabili	0,51	1,00
Tecnologie	0,06	0,12
Vegetazione	0,29	0,58
RC	0,09	

SUPERFICI PERMEABILI- Livello dei Sotto-criteri		
Sotto-categorie DEAm	Priorità normalizzate	Priorità idealizzate
Superfici permeabili continue	0,17	0,20
Superfici permeabili modulari	0,83	1,00
RC	0,00	

Segue **Tabella 6**. Matrici di confronto a coppie riferite alla valutazione del Tecnico T3

VEGETAZIONE – Livello dei Sotto-criteri		
Sotto-categorie DEAm	Priorità normalizzate	Priorità idealizzate
Alberi	0,57	1,00
Prato	0,36	0,63
Tetto verde	0,07	0,11
RC	0,05	

ACQUA– Livello dei Sotto-criteri		
Sotto-categorie DEAm	Priorità normalizzate	Priorità idealizzate
Raffrescamento evaporativo	0,10	0,11
Sistema di drenaggio	0,90	1,00
RC	0,00	

TECNOLOGIE INTEGRATE – Livello dei Sotto-criteri		
Sotto-categorie DEAm	Priorità normalizzate	Priorità idealizzate
Arredo urbano	0,25	0,33
Infrastrutture per la mobilità	0,75	1,00
RC	0,00	

Tabella 7. Priorità normalizzate per Cluster e priorità limite ottenute dalla valutazione del tecnico T3

Elementi dell'albero AHP	Priorità normalizzate	Priorità limite
Acqua	0,13	0,07
Superfici permeabili	0,51	0,26
Tecnologie integrate	0,06	0,03
Vegetazione	0,29	0,15
goal	-	-
Alberi	0,17	0,08
Arredo urbano	0,02	0,01
Infrastrutture per la mobilità	0,05	0,02
Superfici permeabili continue	0,09	0,04
Superfici permeabili modulari	0,43	0,21
Prato	0,11	0,05
Raffrescamento evaporativo	0,01	0,01
Sistemi di drenaggio	0,12	0,06
Tetto verde	0,02	0,01
	totale	1

Osservando i risultati che derivano dalla media delle valutazioni dei tecnici, la categoria più rilevante è quella delle superfici (32%). Infatti, le superfici permeabili puntano ad una maggiore infiltrazione delle acque meteoriche rispetto alle classiche superfici pavimentate e asfaltate (es. aree parcheggio) in cui vi è maggiore probabilità che si verifichino allagamenti, seguita da vegetazione (27%) in quanto contribuisce, soprattutto quando entra in sinergia con le precedenti, a rallentare il deflusso meteorico nelle aree residenziali (es. giardini della pioggia), e acqua (22%) sia per drenare la vegetazione sia per raffrescare durante le ondate di calore (es. nebulizzatori). La categoria meno rilevante o, meglio, di supporto, è quella delle tecnologie (19%) in quanto si riferisce a servizi di supporto per la mobilità dolce e il decoro urbano.

Con riferimento al criterio Superfici permeabili, le superfici continue sono per estensione e per frequenza di realizzazione moderatamente più frequenti (56%) delle superfici modulari (44%) che riguarda un numero di interventi certamente inferiori e di limitata estensione.

Per il criterio Vegetazione, la piantumazione di alberi giovani (50%) contribuisce a ridurre i fenomeni di dissesto del terreno e laddove vi sono alberi e arbusti che hanno esaurito il ciclo di vita, questi contribuiscono in realtà ad una nuova vita biologica. I prati (40%) favoriscono la preservazione di specie vegetali e faunistiche autoctone, mentre i tetti verdi (10%) generano benefici ambientali, economici ed energetici del patrimonio costruito. La loro esplicazione può essere condizionata dalle condizioni strutturali del fabbricato, se preesistente, oppure dalla buona riuscita della messa in opera, se di nuova costruzione, oltre ad essere influenzati dalla discrezionalità del proprietario e dal budget disponibile.

Per il criterio Acqua, i sistemi di drenaggio sono decisamente più rilevanti per l'irrigazione delle aree verdi pubbliche (80%) rispetto ai sistemi di raffrescamento (20%) che detengono una funzionalità limitata alle ondate di calore se pur a beneficio rigenerativo delle fasce più vulnerabili come bambini e anziani.

Spacchettando il criterio Tecnologie, si può osservare una preferenza maggiore per le infrastrutture per la mobilità leggera e sostenibile (es. colonnine per la manutenzione delle e-bike) (62%) rispetto agli arredi urbani (es. moduli impollinatori) (38%).

La Tabella 8 riporta i set di pesi dei criteri elicitati dalle valutazioni individuali AHP e il set di pesi medio, mentre la Figura 5 illustra il riepilogo, includendo anche la media geometrica normalizzata per verificare la variazione di incidenza dei pesi. Dalla media geometrica si riscontra una variazione poco significativa rispetto alla media aritmetica pari al 2,75%.

Tabella 8. Risultati AHP a livello dei criteri riferiti alle valutazioni dei singoli esperti e alla media delle valutazioni

Criteri	Set di pesi del panel di esperti						Media aritmetica	Media geometrica	Media geom. norm.
	DM1 GDT	DM2 VP	DM3 LLPP	DM4 AMB1	DM5 AMB2	DM6 AMB3			
Acqua (A)	0,09	0,15	0,13	0,24	0,29	0,42	0,22	0,20	0,24
Superfici (S)	0,17	0,51	0,51	0,20	0,41	0,15	0,32	0,28	0,35
Tecnologie (T)	0,66	0,04	0,06	0,15	0,16	0,04	0,19	0,11	0,14
Vegetazione (V)	0,08	0,29	0,29	0,42	0,13	0,39	0,27	0,23	0,28

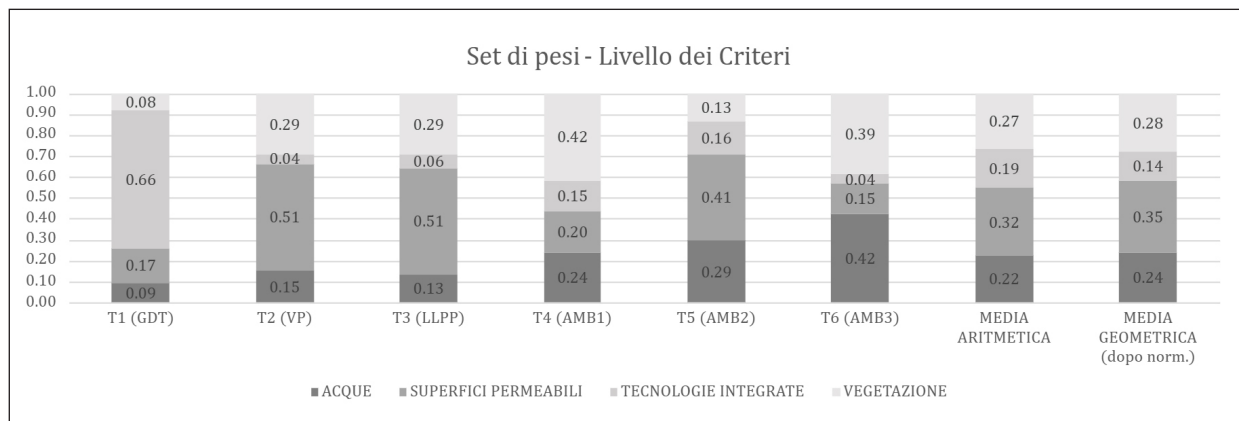


Figura 5. Confronto del set di pesi AHP dei singoli esperti, della media aritmetica e della media geometrica.

5. Discussione dei risultati

È stato possibile determinare il peso dei criteri e dei sottocriteri utilizzando i dati del questionario somministrato al gruppo di esperti con la tecnica AHP, come descritto in dettaglio nelle sezioni precedenti di questo articolo.

Al costo medio unitario individuato per l'Abaco di soluzioni progettuali analizzate mediante elaborazione di computi metrici estimativi, al costo di ciascun sotto-criterio sono applicati i relativi pesi ottenuti per mezzo dell'AHP. Al costo medio unitario così pesato è quindi applicata una seconda pesatura, quella che afferisce ai criteri. Il costo medio unitario totale ottenuto dalla somma dei parziali restituisce il costo medio unitario ponderato delle Dotazioni Ecologico-Ambientali (DEAm) pari a 84,99 euro/mq (Tabella 9).

Tabella 9. Calcolo del costo medio unitario ponderato

Criteri	Sotto-criteri	Costo medio unitario	Peso sotto-criteri AHP	Costo medio unitario pesato sotto-criteri	Peso criteri AHP	Costo medio unitario pesato criteri
		euro/mq	%	euro/mq	%	euro/mq
Superfici per-meabili	Permeabili continue	46,05	60%	27,63		
	Permeabili modulari	51,59	40%	20,64		
	Totale		100%	48,27	32%	15,45
Vegetazione	Prati	51,28	37%	18,97		
	Alberature	50,98	53%	27,02		
	Verde pensile	180,25	10%	18,02		
	Totale		100%	64,02	27%	17,28
Acqua	Sistemi di drenaggio	94,57	79%	74,71		
	Raffrescamento evaporativo	718,35	21%	150,85		
	Totale		100%	225,56	22%	49,62
Tecnologie	Arredo urbano	24,73	43%	10,64		
	Infrastrutture per la mobilità	5,65	57%	3,22		
	Totale		100%	13,85	19%	2,63
Totale				100%	84,99	

6. Conclusioni

Questo articolo ha trattato l'applicazione di una valutazione integrata costituita dal Computo Metrico Estimativo (CME) e dall'*Analytic Hierarchy Process* (AHP) per stimare il costo medio unitario e ponderato delle Dotazioni Ecologico-Ambientali (DEAm) da destinare all'interno degli interventi diretti nel territorio di Cesena-Montiano.

In particolare, il CME si ritiene essere uno strumento affidabile per stimare il costo delle DEAm, di cui talvolta è difficile reperire informazioni sui costi dei materiali e delle singole lavorazioni. Non esistono ad oggi, in Italia, dei prezziari tematici che pre-confezionano i costi delle DEAm, così come di opere di ingegneria naturalistica o *Nature-Based Solutions* (NBS), ma è ancora la competenza, l'esperienza e la sensibilità del progettista/del valutatore andare alla ricerca delle fonti dirette e indirette per stimare il costo dei materiali e delle lavorazioni della singola progettualità, tenendo conto delle caratteristiche sito-specifiche dell'area di progetto e delle sue condizioni al contorno.

La necessità di ottimizzare le tempistiche di qualsiasi processo, anche quello valutativo, sta accrescendo l'interesse pubblico e privato di realizzare dei prezziari tematici su tali soluzioni, approfondendo una delle molteplici dimensioni del concetto stesso di opera pubblica. Per quanto sia riconoscibile l'utilità decisionale, bisognerà accompagnare questa domanda con personale competente che redigerà questi prezziari includendo in maniera comprensiva tutte le tipologie progettuali, (e non una selezione), aggiornandoli con continuità nel tempo finché verrà riconosciuto nelle NBS non solo un *"good value to make money"* (Assumma & De Luca, 2024).

La Municipalità, realizzando l'Abaco delle soluzioni DEAm, ha contribuito a soddisfare una parte di questa domanda di valutazione impiegando un modello di *governance* dal basso di ispirazione orizzontale, per i Comuni limitrofi, e verticale, per la Provincia e per la Regione.

Riprendendo l'art. 5.5.3 del Regolamento che implementa e valuta le DEAm, che introduce un costo unitario di 92 €/mq, con la pesatura AHP è stato ottenuto un costo medio ponderato pari a 84,99 €/mq. Il risultato può essere interpretato in due modi distinti: dal punto di vista privato un incentivo per realizzare all'interno dell'area di progetto la soluzione DEAm; è un incentivo dal punto di vista pubblico, la Municipalità, anche se ricevesse un costo inferiore in differita di 8,00 €, le casse comunali avrebbero comunque un beneficio futuro in termini di Costo del Danno Evitato da calamità naturali (es. allagamento e alluvione).

Per quanto riguarda la selezione della tecnica multicriteriale più idonea, l'AHP è stata ritenuta quella più soddisfacente dalla Municipalità sia per la sua semplicità e gestione lungo il ciclo di vita urbanistico e sia per la capacità di soddisfare i *desiderata* degli stakeholders nel breve termine. Il gruppo di lavoro aveva individuato la *Spatial Multicriteria Analysis* (SMCA) (Caprioli & Bottero, 2020; Malczewski & Rinner, 2015), come tecnica AMC alternativa, più raffinata poiché integrata dai sistemi GIS permettendo di spazializzare le aree più idonee e meno idonee rispetto allo stato *de iure* e allo stato *de facto* del territorio comunale. Sebbene la Municipalità abbia riconosciuto la potenzialità della SMCA come tecnica valutativa potenziale per misurare il fabbisogno delle DEAm nel territorio di competenza del PUG, considerando anche la diversa densità edilizia delle differenti zone (es. il centro storico rispetto alla periferia urbana), è stato convenuto che questo tipo di valutazione, in relazione alla stima del CVE, avrebbe ulteriormente evidenziato le disuguaglianze tra quartieri simili come valore, ma differenti come qualità urbana.

In conclusione, questo lavoro ha trattato entrambe le dimensioni della valutazione economica, monetaria e non monetaria, per restituire un costo medio unitario ponderato delle DEAm integrando CME e AHP. Si ritiene fondamentale riflettere sulla stima del valore biofisico-economico delle esternalità positive producibili da queste soluzioni progettuali, così come sulla necessità di integrare la Valutazione del Rischio per supportare i soggetti pubblici e privati a identificare azioni di mitigazione e/o di compensazione dell'impatto della trasformazione del suolo (e del sotto-suolo), per esempio mediante la stima del Costo del Danno Evitato (Assumma & De Luca, 2024).

Contributo degli autori

Il contributo va attribuito equamente agli Autori.

Bibliografia

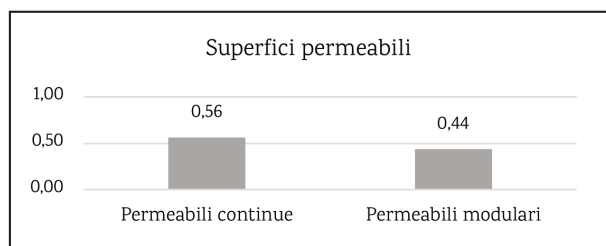
- Aguarón J., Escobar M.T. & Moreno-Jiménez J.M. (2021). Reducing inconsistency measured by the geometric consistency index in the analytic hierarchy process. *European Journal of Operational Research*, 288(2), 576–583. <https://doi.org/10.1016/J.EJOR.2020.06.014>
- Amer M., Daim T.U. & Jetter A. (2013). A review of scenario planning. *Futures*, 46, 23–40. <https://doi.org/10.1016/j.futures.2012.10.003>
- Apollonio F.I., Fallavollita F., Foschi R. & Smurra R. (2024). Multi-Feature Uncertainty Analysis for Urban-Scale Hypothetical 3D Reconstructions: Piazza delle Erbe Case Study. *Heritage 2024, Vol. 7, Pages 476-498*, 7(1), 476–498. <https://doi.org/10.3390/HERITAGE7010023>
- Assumma V. & De Luca C. (2024). Assessing the Value of Cultural Landscapes Through the Integration of Biophysical-Economic Valuation, Risk Assessment and Cost-Benefit Analysis. *Lecture Notes in Computer Science (Including Subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics)*, 14822 LNCS, 78–93. https://doi.org/10.1007/978-3-031-65318-6_6
- Awad J. & Jung C. (2022). Extracting the Planning Elements for Sustainable Urban Regeneration in Dubai with AHP (Analytic Hierarchy Process). *Sustainable Cities and Society*, 76. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2021.103496>
- Brunelli M. (2018). A survey of inconsistency indices for pairwise comparisons. *International Journal of General Systems*, 47(8), 751–771. <https://doi.org/10.1080/03081079.2018.1523156>; CTYPE:STRING:JOURNAL
- Brunelli M. & Cavallo B. (2020). Distance-based measures of incoherence for pairwise comparisons. *Knowledge-Based Systems*, 187, 104808. <https://doi.org/10.1016/J.KNOSYS.2019.06.016>
- Caprioli C. & Bottero M. (2020). Addressing complex challenges in transformations and planning: A fuzzy spatial multicriteria analysis for identifying suitable locations for urban infrastructures. *Land Use Policy*.
- Carvalho M. & Belo O. (2020). An Upper Level for What-If Analysis. *Communications in Computer and Information Science*, 1297, 69–93. https://doi.org/10.1007/978-3-030-66196-0_4
- Çelen A. (2014). Comparative analysis of normalization procedures in TOPSIS method: With an application to Turkish deposit banking market. *Informatika (Netherlands)*, 25(2), 185–208. <https://doi.org/10.15388/INFORMATICA.2014.10>
- Cicala G. (2020). Developing a Work Breakdown Structure. *The Project Managers Guide to Microsoft Project 2019*, 119–148. https://doi.org/10.1007/978-1-4842-5635-0_6
- Corrente S., Figueira J.R. & Greco S. (2021). Pairwise comparison tables within the deck of cards method in multiple criteria decision aiding. *European Journal of Operational Research*, 291(2), 738–756. <https://doi.org/10.1016/J.EJOR.2020.09.036>
- Datola G., Ghisoni A., Dell'ovo M. & Oppio A. (2025). The feasibility of Nature-Based Solution (NBS) interventions: estimating the cost using the Work Breakdown Structure (WBS)[La fattibilità degli interventi Nature-Based Solutions (NBS): la stima dei costi attraverso il modello Work Breakdown Structure (WBS)]. *Valori e Valutazioni*, 2025(37), 183–202. <https://doi.org/10.48264/VVSIEV-20253711>
- Foundation E.M. (2013). Transitioning to a circular economy business | Report. Retrieved July 18, 2025, from Report website: <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/towards-the-circular-economy-vol-1-an-economic-and-business-rationale-for-an>
- Globerson S. (1994). Impact of various work-breakdown structures on project conceptualization. *International Journal of Project Management*, 12(3), 165–171. [https://doi.org/10.1016/0263-7863\(94\)90032-9](https://doi.org/10.1016/0263-7863(94)90032-9)
- Godet M. (2000). The Art of Scenarios and Strategic Planning: Tools and Pitfalls. *Technological Forecasting and Social Change*, 65(1), 3–22. [https://doi.org/10.1016/S0040-1625\(99\)00120-1](https://doi.org/10.1016/S0040-1625(99)00120-1)
- Greco S., Ehrgott M. & José Rui Figueira. (2016). *Multiple Criteria Decision Analysis. State of the Art*

- Surveys* (S. Greco M. Ehr Gott & J. R. Figueira, Eds.). <https://doi.org/10.1007/978-1-4939-3094-4>
- Hamurcu M. & Eren T. (2020). Strategic planning based on sustainability for urban transportation: An application to decision-making. *Sustainability (Switzerland)*, 12(9). <https://doi.org/10.3390/SU12093589>
- ISPRA. (2024). Consumo di suolo, dinamiche territoriali e servizi ecosistemici. Edizione 2024 – SNPA – Sistema nazionale protezione ambiente. Retrieved July 18, 2025, from Report website: <https://www.snpambiente.it/temi/soilo/consumo-di-suolo-dinamiche-territoriali-e-servizi-ecosistemici-edizione-2024/>
- IUCN I. U. for C. of N. (2020). *Global Standard for Nature-based Solutions. A user-friendly framework for the verification, design and scaling up of NbS. First edition.* <https://doi.org/10.2305/IUCN.CH.2020.09.en>
- Jung C. & Awad J. (2023). Sharjah Sustainable City: An Analytic Hierarchy Process Approach to Urban Planning Priorities. *Sustainability (Switzerland)*, 15(10). <https://doi.org/10.3390/su15108217>
- Le Coent P., Graveline N., Altamirano M.A., Arfaoui N., Benitez-Avila C., Biffin T., ... Piton G. (2021). Is-it worth investing in NBS aiming at reducing water risks? Insights from the economic assessment of three European case studies. *Nature-Based Solutions*, 1, 100002. <https://doi.org/10.1016/J.NBSJ.2021.100002>
- Malczewski J. & Rinner C. (2015). Multicriteria Decision Analysis in Geographic Information Science. *Analysis Methods*.
- Moosavi S. (2022). Design experimentation for Nature-based Solutions: Towards a definition and taxonomy. *Environmental Science & Policy*, 138, 149–161. <https://doi.org/10.1016/J.EN-VSCI.2022.10.004>
- Mustajoki J., Hämäläinen R.P. & Salo A. (2005). Decision Support by Interval SMART/SWING—Incorporating Imprecision in the SMART and SWING Methods. *Decision Sciences*, 36(2), 317–339. <https://doi.org/10.1111/J.1540-5414.2005.00075.X>
- Oppio A., Bottero M. & Arcidiacono A. (2018). Assessing urban quality: a proposal for a MCDA evaluation framework. *Annals of Operations Research*. <https://doi.org/10.1007/s10479-017-2738-2>
- RICS. (2021). *New rules of measurement Detailed measurement for building works 2nd edition UK NRM 2: DETAILED MEASUREMENT FOR BUILDING WORKS.* (October), 151–223. Retrieved from https://www.rics.org/content/dam/ricsglobal/documents/standards/october_2021_nrm_2.pdf
- Rovers R. (2019). *People vs resources: restoring a world out of balance.* 378. Retrieved from <https://eburon.nl/en/product/people-vs-resources/>
- Saaty R.W. (1987). The analytic hierarchy process—what it is and how it is used. *Mathematical Modelling*, 9(3–5), 161–176. [https://doi.org/10.1016/0270-0255\(87\)90473-8](https://doi.org/10.1016/0270-0255(87)90473-8)
- Saaty T.L. (1977). A scaling method for priorities in hierarchical structures. *Journal of Mathematical Psychology*, 15(3), 234–281. [https://doi.org/10.1016/0022-2496\(77\)90033-5](https://doi.org/10.1016/0022-2496(77)90033-5)
- Sikorska D., Macegoniuk S., Łaskiewicz E. & Sikorski P. (2020). Energy crops in urban parks as a promising alternative to traditional lawns – Perceptions and a cost-benefit analysis. *Urban Forestry & Urban Greening*, 49, 126579. <https://doi.org/10.1016/J.UFUG.2019.126579>
- Silva R.R. da, Santos G.D. & Setti D. (2022). A multi-criteria approach for urban mobility project selection in medium-sized cities. *Sustainable Cities and Society*, 86. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2022.104096>
- Singh M. & Marwaha B.M. (2025). Optimising criteria for achieving sustainable housing for industrial workers using a multi-criteria decision analysis approach: A case study of Noida, Uttar Pradesh, India. *Journal of Urban Regeneration and Renewal*, 19(1), 69–85. <https://doi.org/10.69554/OOAH6203>
- UN-Habitat. (2024). World Cities Report 2024: Cities and Climate Action | UN-Habitat. Retrieved July 18, 2025, from Report website: <https://unhabitat.org/world-cities-report-2024-cities-and-climate-action>
- UN. (2015). Transforming our World: The 2030 Agenda for Sustainable Development | Department of Economic and Social Affairs. Retrieved July 18, 2025, from Report website: <https://sdgs.un.org/publications/transforming-our-world-2030-agenda-sustainable-development-17981>

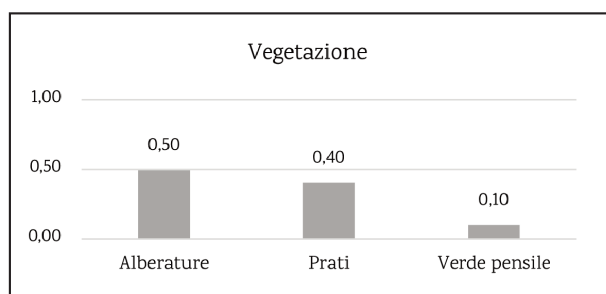
- Vafaei N., Ribeiro R.A. & Camarinha-Matos, L. M. (2016). Normalization techniques for multi-criteria decision making: Analytical hierarchy process case study. *IFIP Advances in Information and Communication Technology*, 470, 261-268. https://doi.org/10.1007/978-3-319-31165-4_26/TABLES/6
- Yaralioglu I. & Kara C. (2024). Sustainable Urban Design Approach for Public Spaces Using an Analytical Hierarchy Process (AHP). *Land* 2025, Vol. 14, Page 19, 14(1), 19. <https://doi.org/10.3390/LAND14010019>

Appendice

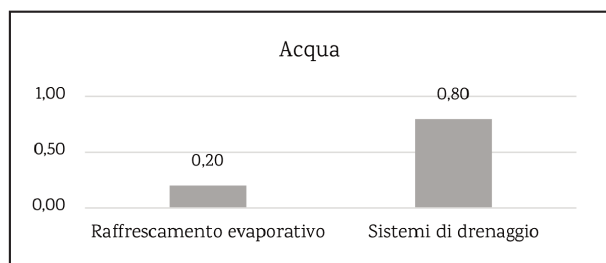
Figura A1. Set di pesi dei sotto-criteri riferito alla media delle valutazioni degli esperti: a) superfici impermeabili, b) vegetazione, c) acqua, d) tecnologie.



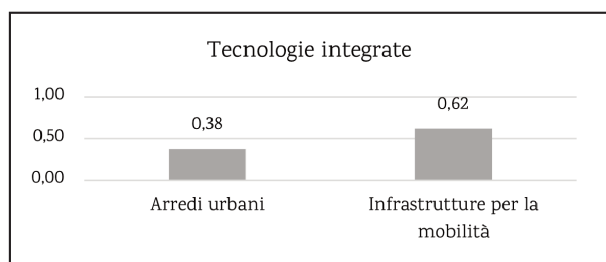
a



b



c




d

Tabella A1. Priorità AHP basate sulla media delle valutazioni degli esperti.

Elementi AHP	Priorità normalizzate	Priorità limite
Acqua	0,22	0,11
Superfici	0,32	0,14
Tecnologie	0,19	0,08
Vegetazione	0,27	0,11
goal	0,00	0,00
Alberature	0,11	0,05
Arredi urbani	0,10	0,04
Infrastrutture per la mobilità	0,09	0,04
Permeabili continue	0,16	0,07
Permeabili modulari	0,16	0,07
Prati	0,13	0,06
Raffrescamento evaporativo	0,04	0,02
Sistemi di drenaggio	0,18	0,08
Verde pensile	0,03	0,01
	totale	1

Appendice

Figura A2. Estratto del questionario.

 **Comune di Cesena**

VALUTAZIONE DELLE DOTAZIONI ECOLOGICO-AMBIENTALI ATTRAVERSO L'ANALISI MULTICRITERI «ANALYTIC HIERARCHY PROCESS» (AHP)

QUESTIONARIO

Questionario n° _____ Professione _____ /
 Organizzazione _____ /
 Data _____ /

Il questionario è rivolto ad un panel di esperti coinvolto nella valutazione delle dotazioni ecologico-ambientali (AD) del Piano Urbanistico Generale (PUG) del Comune di Cesena. L'obiettivo è quello di **definire le categorie di dotazioni AD più rilevanti** per supportare la trasformazione urbana, considerando gli obiettivi definiti dall'art. 5.5.3 nelle Norme di Attuazione del PUG.

Al fine di raggiungere tale obiettivo, si invitano gli esperti a rispondere a una serie di domande nelle quali sarà richiesto di esprimere un giudizio di preferenza secondo il principio del confronto a coppie, ovvero utilizzando una scala a punteggi da 1 a 9 (nota anche come Scala Fondamentale di Saaty).

Si segnala che **tutte le informazioni che verranno fornite nel questionario saranno trattate in maniera confidenziale e che i dati saranno impiegati esclusivamente per lo scopo della valutazione**.

Si precisa inoltre che **l'esperto è libero nella compilazione delle varie parti del questionario**, focalizzando l'attenzione sugli aspetti più di sua competenza ed eventualmente tralasciando le domande che ritiene non propriamente attinenti alle sue competenze.

Si prega di compilare il questionario e di restituirlo per mail al seguente indirizzo: vanessa.assumma@unibo.it

a

SEZIONE A

CONFRONTO A COPPIE A LIVELLO DELLE MACRO-CATEGORIE

Domanda 1:

Con riferimento al perseguimento di una *trasformazione urbanistica sostenibile dal punto di vista ecologico-ambientale*, quali di queste categorie di soluzioni è la più rilevante? E in quale misura?

Superfici	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Vegetazione
Superfici	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Acqua
Superfici	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Tecnologie
Vegetazione	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Acqua
Vegetazione	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Tecnologie
Acqua	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Tecnologie

NOTE

c

ORGANIZZAZIONE DEL MODELLO GERARCHICO

I vari elementi sono parte di un sistema di relazioni che favoriscono la scomposizione del problema in parti più semplici. L'implementazione del modello AHP è supportata dal software Superdecisions (Creative Commons Foundation, www.superdecisions.com).

PESATURA DEI CRITERI E DEI SOTTO-CRITERI

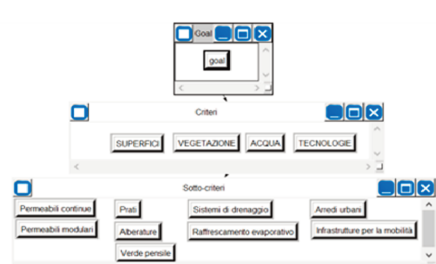
Una volta strutturato il modello decisionale, è necessario procedere alla valutazione dell'importanza relativa delle categorie e dei tipi di materiali e soluzioni considerati. I partecipanti sono chiamati a rispondere ad una serie di domande generate dal modello AHP precedentemente definite.

Le domande fanno riferimento a una serie di confronti specifici tra diversi elementi considerati. Nel rispondere alle domande, i partecipanti utilizzano una scala numerica prestabilita, ovvero la "Scala Fondamentale di Saaty". Di seguito si porta un esempio di domanda generata dal modello.

"Quale dei seguenti criteri contribuisce maggiormente al raggiungimento del goal? In quale misura?"

ELEMENTI COSTITUTIVI DEL MODELLO AHP

- **Criteria:** Categorie dell'Abaco del Regolamento DEAm;
- **Sotto-criteri:** Materiali/Soluzioni nelle singole categorie;
- **Relazioni:** Monodirezionali, a cascata.



b

SEZIONE B

CONFRONTO A COPPIE A LIVELLO DEL SET DI SOLUZIONI

Domanda 1:

Con riferimento alla definizione della categoria "Superfici", quali di questi materiali/soluzioni è il più rilevante? E in quale misura?

Permeabili continue	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Permeabili modulari
---------------------	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---------------------

Domanda 2:

Con riferimento alla definizione della categoria "Vegetazione", quali di questi materiali/soluzioni è il più rilevante? E in quale misura?

Prati	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Alberature
Prati	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Verde pensile
Alberature	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Verde pensile

Domanda 3:

Con riferimento alla definizione della categoria "Acqua", quali di questi materiali/soluzioni è il più rilevante? E in quale misura?

Sistemi di drenaggio	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Raffr. evaporativo
----------------------	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	--------------------

Domanda 4:

Con riferimento alla definizione della categoria "Tecnologie", quali di questi materiali/soluzioni è il più rilevante? E in quale misura?

Arredi urbani	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
---------------	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	--

d

Appendice

Tabella A2. Risultati AHP del Tecnico T1 con competenza in governo del territorio (GDT)

T1: Goal - Livello dei criteri

Criteri	Priorità normalizzate	Priorità idealizzate
Acqua	0,09	0,14
Superfici permeabili	0,17	0,25
Tecnologie	0,66	1,00
Vegetazione	0,08	0,12
RC	0,10	

T1: Criteri - Livello dei Sottocriteri

Superfici permeabili

Sotto-criteri	Priorità normalizzate	Priorità idealizzate
Sup. permeabili continue	0,80	1,00
Sup. permeabili modulari	0,20	0,25
RC	0,00	

Vegetazione

Sotto-criteri	Priorità normalizzate	Priorità idealizzate
Alberature	0,73	1
Prati	0,17	0,24
Verde pensile	0,10	0,14
RC	0,03	

Acqua

Sotto-criteri	Priorità normalizzate	Priorità idealizzate
Raffrescamento evaporativo	0,25	0,33
Sistemi di drenaggio	0,75	1
RC	0	

Tecnologie

Sotto-criteri	Priorità normalizzate	Priorità idealizzate
Arredi urbani	0,75	1
Infrastrutture per la mobilità	0,25	0,33
RC	0	

T1: Priorità

Sotto-criteri	Priorità normalizzate	Priorità idealizzate
Acqua	0,09	0,05
Superfici	0,17	0,08
Tecnologie	0,66	0,33
Vegetazione	0,08	0,04
goal	0,00	0,00
Alberature	0,06	0,03
Arredi urbani	0,49	0,25
Infrastrutture per la mobilità	0,16	0,08
Permeabili continue	0,13	0,07
Permeabili modulari	0,03	0,02
Prati	0,01	0,01
Raffrescamento evaporativo	0,02	0,01
Sistemi di drenaggio	0,07	0,03
Verde pensile	0,01	0,00
	totale	1

Appendice

Tabella A3. Risultati AHP del Tecnico T2 con competenza in verde pubblico (VP)

T2: Goal - Livello dei Criteri

Criteri	Priorità normalizzate	Priorità idealizzate
Acqua	0,15	0,30
Superfici permeabili	0,51	1,00
Tecnologie	0,04	0,09
Vegetazione	0,29	0,57
RC	0,09	

T2: Criteri - Livello dei sotto-criteri

Superfici permeabili

Sotto-criteri	Priorità normalizzate	Priorità idealizzate
Sup. permeabili continue	0,83	1,00
Sup. permeabili modulari	0,17	0,20
RC	0	

Vegetazione

Sotto-criteri	Priorità normalizzate	Priorità idealizzate
Alberature	0,57	1,00
Prati	0,36	0,63
Verde pensile	0,07	0,11
RC	0,05	

Acqua

Sotto-criteri	Priorità normalizzate	Priorità idealizzate
Raffrescamento evaporativo	0,25	0,33
Sistemi di drenaggio	0,75	1,00
RC	0,00	

Tecnologie

Sotto-criteri	Priorità normalizzate	Priorità idealizzate
Arredi urbani	0,75	1
Infrastrutture per la mobilità	0,25	0,33
RC	0	

T2: Priorità

Elementi AHP	Priorità normalizzate	Priorità limite
Acqua	0,15	0,08
Superfici	0,51	0,26
Tecnologie	0,04	0,02
Vegetazione	0,29	0,15
Goal	0,00	0,00
Alberature	0,17	0,08
Arredi urbani	0,02	0,01
Infrastrutture per la mobilità	0,02	0,01
Permeabili continue	0,43	0,21
Permeabili modulari	0,09	0,04
Prati	0,11	0,05
Raffrescamento evaporativo	0,04	0,02
Sistemi di drenaggio	0,11	0,06
Verde pensile	0,02	0,01
	totale	1

Appendice

Tabella A4. Risultati AHP del Tecnico T3 con competenza in Lavori Pubblici (LLPP)

ESPERTO LLPP		
T3: Goal - Livello dei Criteri		
Criteri	Priorità normalizzate	Priorità idealizzate
Acqua	0,13	0,26
Superfici	0,51	1,00
Tecnologie	0,06	0,12
Vegetazione	0,29	0,58
RC	0,09	
T3: Criteri - Livello dei sotto-criteri		
Superfici permeabili		
Criteri	Priorità normalizzate	Priorità idealizzate
Sup. permeabili continue	0,17	0,20
Sup. permeabili modulari	0,83	1,00
RC	0	
Vegetazione		
Criteri	Priorità normalizzate	Priorità idealizzate
Alberature	0,57	1,00
Prati	0,36	0,63
Verde pensile	0,07	0,11
RC	0,05	
Acqua		
Criteri	Priorità normalizzate	Priorità idealizzate
Raffrescamento evaporativo	0,10	0,11
Sistemi di drenaggio	0,90	1,00
RC	0	

Tecnologie		
Criteri	Priorità normalizzate	Priorità idealizzate
Arredi urbani	0,25	0,33
Infrastrutture per la mobilità	0,75	1,00
RC		
T3: Priorità		
Elementi AHP	Priorità normalizzate	Priorità limite
Acqua	0,13	0,07
Superfici	0,51	0,26
Tecnologie	0,06	0,03
Vegetazione	0,29	0,15
goal	0,00	0,00
Alberature	0,17	0,08
Arredi urbani	0,02	0,01
Infrastrutture per la mobilità	0,05	0,02
Permeabili continue	0,09	0,04
Permeabili modulari	0,43	0,21
Prati		
Raffrescamento evaporativo	0,01	0,01
Sistemi di drenaggio	0,12	0,06
Verde pensile	0,02	0,01
	totale	1

DEI PREMIUM PLUS

Una banca dati, mille servizi

MIMETRICO DEI

IL COMPUTISTA DIGITALE PER IL TUO PROGETTO

Con **DEIPLUS PREMIUM** puoi:



CERCARE qualsiasi voce con parole chiave o codice



CREARE elenchi prezzi personalizzati senza limitazioni



ESPORTARE le voci degli elenchi prezzi creati nei formati xml, xlsx, csv e xpwe



AGGIORNARE gli elenchi prezzi automaticamente



MONITORARE l'andamento dei prezzi nel tempo



COMPUTARE il tuo progetto