

The feasibility of Nature-Based Solution (NBS) interventions: estimating the cost using the Work Breakdown Structure (WBS)

Giulia Datola^{1,*}, Andrea Ghisoni², Marta Dell'Ovo¹, Alessandra Oppio¹

¹ Department of Architecture and Urban Studies (DAStU), Politecnico di Milano, Via Bonardi 3, 20133 Milano, Italy; giulia.datola@polimi.it; marta.dellovo@polimi.it; alessandra.oppio@polimi.it

² Politecnico di Milano, Piazza Leonardo da Vinci 32, 20133 Milano, Italy; andrea.ghisoni1@mail.polimi.it

* corresponding author

Keywords

Nature-Based Solutions (NBS), Global cost value, Work Breakdown Structure (WBS), Life cycle

Abstract

The implementation of Nature-Based Solutions (NBS) in urban contexts represents a sustainable strategy for climate change mitigation and adaptation and it is promoted by several national and international policies. However, despite their potential in supporting the transition towards more resilient and sustainable cities, their practical implementation remains limited and fragmented. Above the lack of knowledge and awareness regarding their benefits, the main criticalities which negatively affect their adoption concerns the absence of suitable tools for estimating costs related the entire life cycle of these solutions.

This study aims to address this gap by proposing the use of the Work Breakdown Structure (WBS) as a tool to hierarchical represent and describe NBS. This approach enables to simultaneously provide a detailed description of interventions and a clear classification of cost items, improving thus both the planning and the management of the economic resources for these solutions. The proposed model has been applied to estimate the overall life-cycle-costs of NBS designed for urban water management, or rather the Sustainable Urban Drainage Systems (SUDS). This application demonstrates the effectiveness of the proposed model in providing an analytical economic evaluation specifically tailored to the specific characteristics of each solution.

One of the main strengths of the WBS method consists in its modular and flexible structure, which makes it a general reference model that can be applied and adapted to different project contexts. Furthermore, this research highlights the relevance of estimating costs across the entire life-cycle of NBS to ensure their sustainable implementation and management, thus contributing to their wider adoption and integration into urban climate adaptation strategies.

1. Introduction

The topic concerning the urgency of facing climate change effects in urban environments through adaptation and mitigation strategies is gaining increasing relevance. The overall decrease in precipitation, the rise of average temperatures, and the growing frequency of extreme weather events (Carter et al., 2021; Olivieri et al., 2024) are making the existing urban infrastructures more and more vulnerable, which often proves inadequate to ensure effective management of extreme events (Davies et al., 2021; Faivre et al., 2017).

In this context, Nature-Based Solutions (NBS) have emerged as suitable mitigation and adaptation strategies for urban environments (Masiero et al., 2022), able to support the transition toward sustainable and resilient urban development (Raymond et al., 2017) by fostering synergies between nature, society, and the economy (Dumitru et al., 2021).

The implementation of NBS in urban environments is encouraged by several international and national policy agendas, such as the European Green Deal, the Sustainable Development Goals (SDGs), and the National Recovery and Resilience Plan (PNRR). These frameworks recognise NBS as effective urban regeneration strategies due to their capacity to simultaneously address and deliver multidimensional benefits, concerning environmental, social, and economic dimensions (Wickenberg et al., 2021). Consequently, NBS such as urban forestry, Sustainable Urban Drainage Systems (SUDS), and blue-green infrastructure networks (Dumitru et al., 2021) can provide multifaceted benefits, including the reduction of the flood risk, water and air pollution, and the Urban Heat Island (UHI) effects (Sowińska-Świerkosz & García, 2021).

However, despite this great and increasing interest, the operational implementation of NBS in urban and peri-urban contexts is still limited and fragmented. This is due not only to the lack of adequate knowledge and awareness concerning NBS implementation benefits (Netti et al., 2024; Vollaers et al., 2021), but also to the absence of a robust evaluation tool capable of estimating both the implementation and maintenance costs of different NBS types and the monetary value of the benefits they provide (Maes et al., 2020; Sowińska-Świerkosz & García, 2022).

Within this state-of-the-art, the present study aims to develop a classification system for estimating the life-cycle costs of NBS. For this purpose, a Work Breakdown Structure (WBS) based model has been suggested. Traditionally employed in the building construction sector to analytically estimate construction costs, the Work Breakdown Structure (WBS) is here adapted to describe and estimate the overall life-cycle costs of NBS specifically designed for water management in urban areas. The proposed model enables a detailed representation of the considered solutions through a hierarchical analysis of their components and a comprehensive cost estimation across the entire life-cycle. The main aim of this research is to provide a general reference tool for NBS cost estimation, adaptable to the specific peculiarity of the application contexts.

This article is organised into five sections. Section 2 introduces and defines the concept of NBS, highlighting their specific features, with a particular focus on those NBS proposed for urban water management. Section 3 summarises the methodology used to construct the proposed model. Section 4 provides a detailed description of the developed WBS structure with the specific cost items considered. It also illustrates the results obtained by applying the developed WBS model for estimating the costs of those NBS analysed in the present study. Section 5 offers conclusive remarks, critically discussing both strengths and limitations of the proposed WBS model, suggesting future implementation of the research.

2. Nature-Based Solutions (NBS)

2.1 Definition

The term Nature-Based Solutions (NBS) represents an umbrella concept, introduced for promoting sustainable development by addressing urban challenges through a holistic approach that integrates social, economic, and environmental dimensions (Castellar et al., 2021). This concept was first introduced by the World Bank in 2008 (Leary et al., 2008). Since its foreword, the NBS concept has been widely explored and analysed in both academic and political fields, implying the proposal of multiple definitions with different meanings. This section does not aim to provide an exhaustive review of all the proposed definitions. It would offer a general overview of the concept, underlying the main features.

In 2015, the European Commission described NBS as “*solutions inspired and supported by nature, which are cost-effective, simultaneously provide environmental, social, and economic benefits, and help build resilience. Such solutions bring more, and more diverse, nature and natural features and processes into cities, landscapes and seascapes, through locally adapted, resource-efficient and systemic interventions*” (Bauduceau et al., 2015).

In 2020, the International Union for Conservation of Nature (IUCN) introduced the Global Standard for NBS (International Union for Conservation of Nature, 2020), establishing a clearer set of criteria for NBS definition. According to the IUCN, NBS are “*actions to protect, sustainably manage, and restore natural or modified ecosystems that address societal challenges effectively and adaptively, while simultaneously providing human well-being and biodiversity benefits.*”

The Global Standard outlines eight criteria that interventions have to achieve to be classified as NBS:

- Addressing societal challenges. NBS have to be designed to respond to one or more priority societal challenges, as identified by the stakeholders. These should include job creation, climate change mitigation and adaptation, increasing provision of ecosystem services, food security, and water security. This criterion also underlines the relevance of inclusive stakeholder engagement in decision-making;
- Integrating economic, social, and environmental dimensions. An effective NBS design should operate at an appropriate spatial and governance scale, considering the complex interactions among ecological, economic, and social systems. A systemic and integrated framework is essential to ensure long-term sustainability and effective integration into decision-making;
- Biodiversity gain. NBS have to avoid the depletion of ecosystem integrity, and enhance ecosystem functionality and connectivity;
- Ensuring economic feasibility. The economic feasibility has to be considered according to both the planning and monitoring phases. Therefore, NBS should balance the short-term investment costs with long-term benefits;
- Promoting inclusive, transparent, and accountable governance. Planning NBS has to comply with existing legal and regulatory frameworks and recognise and engage stakeholders. Therefore, the governance processes should ensure transparency and accountability;
- Balancing trade-offs to achieve and combine primary goals with co-benefits. Trade-offs in land and resource management are inevitable. NBS should adopt a transparent and inclusive approach to managing trade-offs over spatial and temporal scales. In this context, stakeholder involvement and transparent evaluation processes are crucial to managing these potential impacts;
- Enabling adaptive management. The implementation of NBS intervention has to foresee adaptive management strategies to address uncertainties, as well as valorising ecosystem resilience;
- Ensuring sustainability and observing appropriate institutional frameworks. NBS interventions have to be designed for long-term sustainability and aligned with relevant policy frameworks at both national and international levels.

Despite the variety of definitions, some common elements emerge across NBS descriptions, or rather:

- The presence of a natural component. Natural elements are essential for these systems. Therefore, the use of nature is a defining feature;
- Economic feasibility. NBS interventions have to be financially feasible, with sustainable implementation and maintenance costs over their life cycle and a favourable cost-benefit ratio over the long term (Sowińska-Świerkosz & García, 2022).
- Provision of multiple benefits. NBS are expected to provide a wide range of co-benefits that grey infrastructure can not offer, while maintaining comparable performance. NBS should enhance both ecosystem quality and human well-being.

2.2 NBS for urban water management

The expansion of urban areas has progressively increased the impermeable surface, implying significant impacts for the environment and biodiversity. According to the data provided by ISPRA

- Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale (Sistema Nazionale per la Protezione Dell'Ambiente, 2024), at the national level, the land consumption has reached 7.16% of the territory, a value that rises to 7.26% excluding the areas occupied by permanent water bodies, confirming a constantly growing trend. In this context, the implementation of NBS solutions capable of intercepting, storing, or gradually releasing rainwater in urban areas is garnering growing interest at a national and international level (Fletcher et al., 2015; Sirishantha & Rathnayake, 2017). These solutions, also known as Sustainable Urban Drainage Systems (SUDS), have a fundamental role in supporting the sewer network during heavy rain events, reducing the risk of saturation. They also facilitate the infiltration of first rainwater, contributing to its purification thanks to the combined action of roots and soil, which treat and degrade pollutants. This de-oiling and filtration function can be implemented in urban contexts characterised by denaturalised surfaces, both in residential and in large impermeable areas, such as abandoned spaces, parking lots, squares, and roadsides (Ferrans et al., 2022).

Therefore, NBS are a sustainable and promising approach to urban water management, offering an effective and complementary alternative to traditional drainage systems. These solutions not only improve the capacity of cities to deal with extreme weather events but also contribute to strengthening urban resilience, representing a key strategy for adapting to and mitigating the effects of climate change (Bauduceau et al., 2015). In this context, several publications emphasise the use of water management systems that reproduce natural infiltration processes to treat stormwater (Aiona et al., 2020; Somaris et al., 2020; Zeleňáková et al., 2017), to ensure water security (Cohen-Shacham et al., 2019), and to improve urban resilience (Kellagher et al., 2015; World Bank, 2021). The main types of NBS for urban water management are reported in Table 1.

Table 1. NBS for urban water management (elaboration from Kellagher et al. 2015; Zeleňáková, Diaconu, and Haarstad 2017; Cohen-Shacham et al. 2016; Bono et al., 2020; Aiona et al., 2020; Somaris, Stagakis, and Chrysoulakis 2020)

Nature-Based Solution	Description
Swales	Solutions designed to manage runoff from large surfaces (e.g., parking lots and/or roads) through processes of absorption, accumulation and conveyance of surface water. These solutions also contribute to the removal of pollutants and sediments, improving water quality.
Infiltration basins	These solutions facilitate the infiltration of runoff through the upper surface of the trench, allowing it to subsequently filter into the underlying layers.
Rain garden	Small ground depressions covered with vegetation for collecting and treating rainwater drained from surrounding impermeable surfaces.
Trees	Solutions with high level of multifunctionality. They have several visual and physical impacts on the quality of life in urban areas. Their ability stands in the interception of rainwater and associated pollutants, as well as limiting the heat island phenomenon.
Ponds and wetlands	These are basins for collecting and managing rainwater, characterized by a permanent layer of water. These systems can serve many functions, including laminating runoff, treating rainwater, enhancing biodiversity, and increasing the potential for using the area.
Permeable paving	This solution permits the rainwater flow, supporting its infiltration into the ground through modular elements equipped with voids or joints, filled with permeable materials that facilitate the absorption of runoff.
Reopening of buried urban waterways	These interventions foresee the removing of the existing cover, the restoration of the natural substrate, and the rehabilitation of the vegetation through the introduction of aquatic plants and a riparian buffer composed of shrub and tree species.
Restoration of wetlands and floodplains in peri-urban settings	The maintenance and/or restoration of floodplains supports the reduction of flood risk by preserving the natural flow of rivers, providing also habitats for biodiversity.

In the context of NBS for urban water management, this research focuses on the analysis of those solutions that can be easily implemented along roadsides, either alongside or in place of existing parking spaces. This choice has been made according to the need to optimise the use of urban space and simultaneously improve stormwater management. Specifically, the NBS analysed and evaluated through the proposed approach, including a detailed cost estimation, are: (1) permeable paving, (2) rain garden, (3) rain garden with tree planting, and (4) urban tree planting.

2.3 NBS cost estimation: state of the art

As highlighted in Section 1, the implementation of NBS in urban areas is often limited by the difficulty in estimating their life-cycle costs. This section provides an overview of the state-of-the-art concerning the evaluation of implementation and maintenance costs of NBS. The literature review conducted in the study proposed by Torrieri and colleagues (Torrieri et al., 2025) underlines that most of the proposed research are based on a parametric estimation of average implementation costs. Only two of the reviewed studies adopted a more detailed cost estimation approach by using pricing lists related to the application context and providing information on the implementation phases (Gaona Currea et al., 2024; Sikorska et al., 2020). Moreover, it emerged that the maintenance costs are generally less explored than implementation costs, despite their high relevance within the full life-cycle of NBS. Moreover, in many of the analysed cases, the description of the intervention and the works required for NBS implementation are not sufficiently detailed, making it difficult to adapt the parametric cost estimation to other specific contexts (Le Coent et al., 2021). This state-of-the-art highlights the need for a structured and standardised methodology for estimating the implementation and maintenance costs of NBS, also able to consider all components and the peculiarities of the application context. Furthermore, this requirement is closely linked to one of the criteria defined by the IUCN, which states that NBS have to ensure economic feasibility by presenting sustainable implementation and management costs over their life-cycle.

3. Methodology

As clarified in the introduction (Section 1), this research analyses the topic of implementing NBS in urban environments, as it is strongly recommended by various national and international policies as a suitable strategy for mitigating the effects of climate change.

Figure 1 illustrates the flowchart of the methodological process at the basis of this research, structured into four main phases: (1) analysis of the topic, (2) identification of the research question and objective, (3) methodology, and (4) results.

The first phase addresses the topic related to the implementation of NBS in urban contexts, highlighting both strengths and opportunities, as well as the main challenges and operational needs. Based on the identified criticalities, the main research question has been formulated as Q_1 : “How can the implementation, maintenance, and end-of-life costs of NBS be estimated, considering the different work components and site-specific characteristics?”.

Starting from this question, the research aims to propose a structured, practical, and replicable model for estimating the life-cycle costs of NBS. The methodology developed to achieve this goal and to answer the research question Q_1 includes (1) the concept of the global cost for identifying all life-cycle cost components (Forte, 1973), (2) a review of cost estimation methods (synthetic and analytical) (Utica, 2011a, 2011b), (3) the illustration of the Work Breakdown Structure (WBS) model used to hierarchical structure the project according different work elements, and (4) the analysis of classification systems, or rather the UNI 8290 and the UNIFORMAT II. The outcome is represented by a WBS-based model specifically structured for estimating the life-cycle costs of NBS. This model has been applied to estimate the costs of NBS for stormwater management in urban contexts, including: (1) permeable paving, (2) rain garden, (3) rain garden with tree planting, and (4) urban tree planting.

This section discusses the methodological background at the basis of the proposed approach. It briefly reports the concept of the global cost value (Section 3.1), introduces the WBS approach

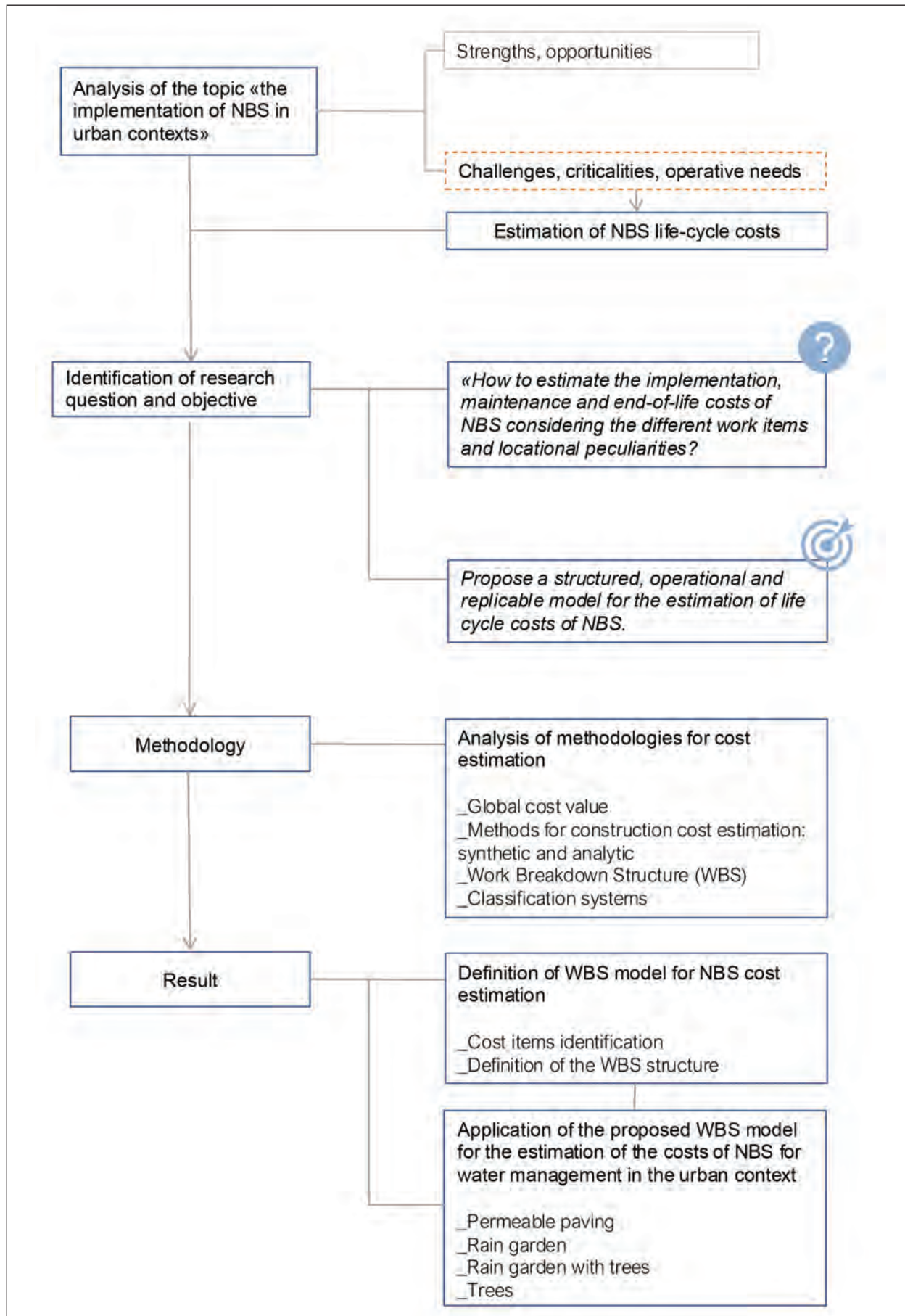


Figure 1. Flowchart and research phases (authors' elaboration).

(Section 3.2), and illustrates the classification systems that can be used for the development of the WBS (Section 3.3).

3.1 Global cost value

Analysing the cost value across the overall life-cycle of a project (conception, implementation, delivery, management, and divestiture), it is essential to consider all values associated with the different time phases and the several stakeholders involved. All these elements contribute to determining the global cost value, providing a comprehensive and structured overview of the economic resources required for the entire duration of the project.

The global cost value is defined as the sum of all predictable expenses necessary to ensure the proper use of the project over its useful life (foreseeable management and maintenance costs), as well as the estimated expenses to be sustained for the divestiture of the asset at the end of the life cycle.

Figure 2 represents the various phases of the life-cycle of the project and identifies the corresponding cost items.

The global cost value can be described by equation 1:

$$V_{GLOB}^C = V_{TOT}^C + V_{USE}^C + V_{RES} \quad (1)$$

where:

V_{TOT}^C is the total cost;

V_{USE}^C is the cost in use, given by the sum of maintenance cost V_{MAN}^C and management cost V_{MANG}^C , as defined by the equation $V_{USE}^C = V_{MAN}^C + V_{MANG}^C$;

V_{RES} is the residual value, which can be given by the value of divestiture cost or by the positive residual value recognized for what remains.

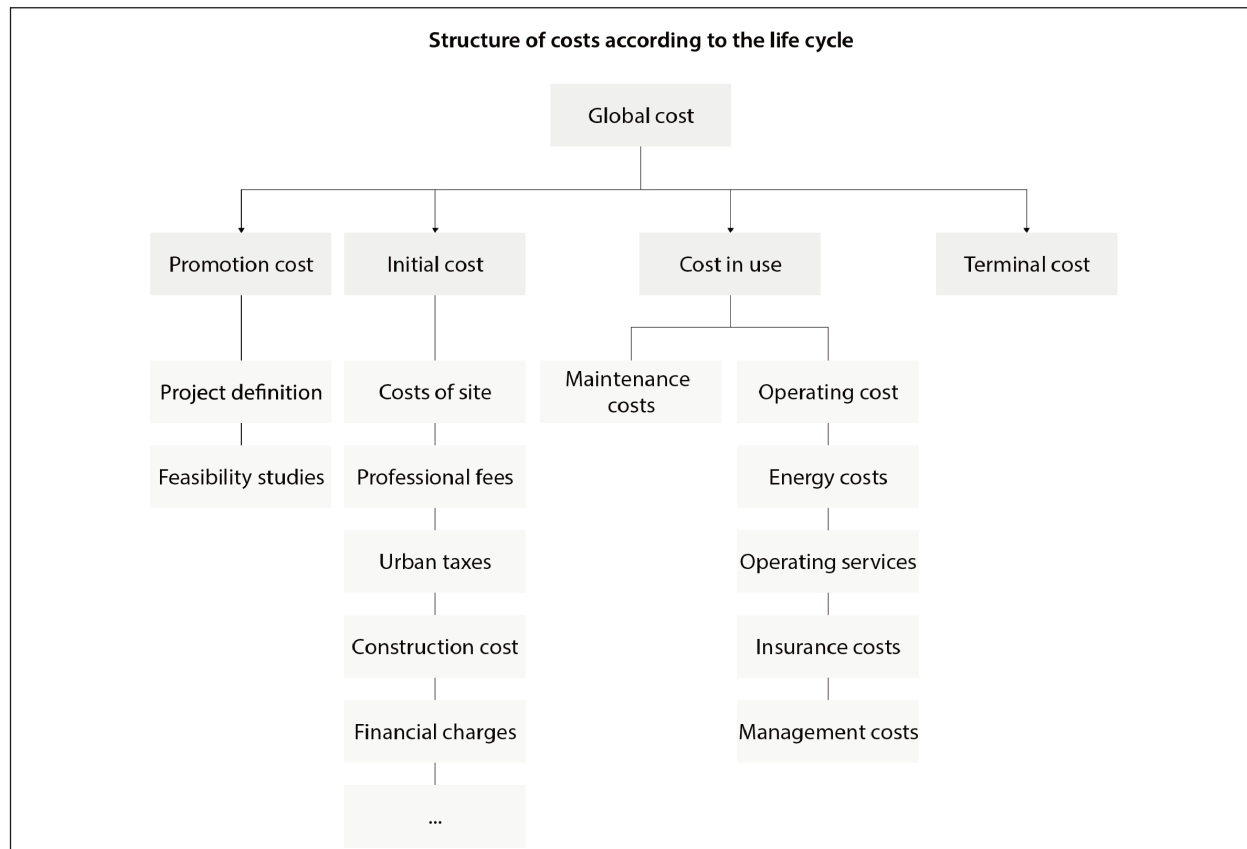


Figure 2. Global cost and identification of project life-cycle costs (elaboration from Utica, 2011b).

Therefore, it can be stated that the global cost value of a project consists of the set of expenses that the active subjects (investor, client, contractor) have to sustain to guarantee the production outcome, the maintenance of the programmatic function and the decommissioning when the conditions once the conditions that justify its use no longer exist (Utica, 2011a).

3.2 Work Breakdown Structure (WBS)

The Work Breakdown Structure (WBS) is defined by the Project Management Institute (PMI) as “A hierarchical structure composed of activities, which organizes, defines, and graphically represents all the work required to achieve the project objectives.” (Institute Project Management, 2017). Among the identification of the operational resources needed for the physical implementation of the project, this tool permits to break down a complex project into simpler and more manageable work units, providing a common rule for communication, allocation of responsibilities, and the monitoring of scope, costs, and timelines. The goal of the WBS is to identify all the project components according to a clear hierarchical structure, enabling effective management of its complexity. Figure 3 illustrates the typical WBS structure, which hierarchically organises the project into its constituent elements. Based on this hierarchical scheme, the WBS permits:

- Organise all project components into hierarchical levels of detail, make them visible and structured in a rational manner;
- Define relationships between the different components, assigning them specific parameters (simple or complex) within a structured hierarchical system;
- Supporting the development of the project documentation through an informative flow.

The WBS, thus, permits breaking down the project into increasingly simpler elements, according to the desired level of detail and considering the different design choices.

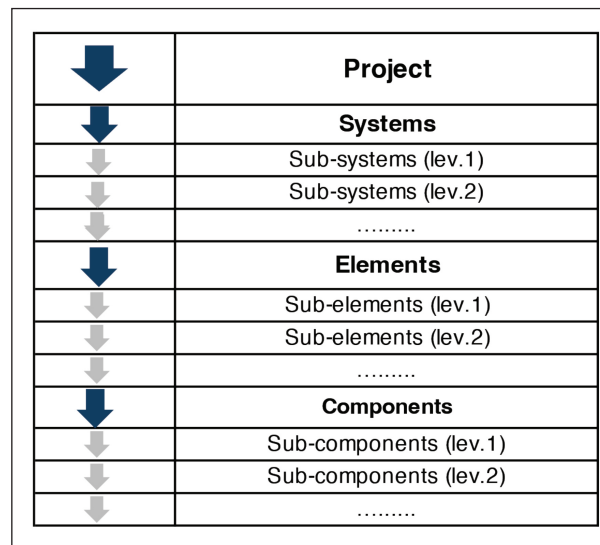


Figure 3. General WBS structure (Utica, 2011a).

3.3 Classification systems

The organisation of the WBS should be based on shared classification systems, such as UNI 8290 standard and/or UNIFORMAT II, to apply a logical framework for the organisation of data according to a coherent and hierarchical structure. A well-structured classification system and the definition of an effective communication code are essential for effectively managing and estimating the construction cost of the project (Utica, 2011a).

For this purpose, it is necessary to use operational tools, able to identify and organise project components according to different levels.

At the operational level, classification can be based on standardised systems, including (1) the UNI 8290 standard and (2) UNIFORMAT II. These systems provide structured and well-established references for organising project-related information. Table 2 summarises the three classification levels proposed by UNI 8290 standard and UNIFORMAT II.

Table 2. UNI 8290 standard and UNIFORMAT II classification systems with their hierarchical levels and specific terminology (authors' elaboration)

	Level 1	Level 2	Level 3
UNI 8290	Technological unit classes	Technological units	Classes of technical elements
UNIFORMAT II	<i>Major group elements</i>	<i>Group elements</i>	<i>Individual elements</i>

The UNI 8290 standard, proposed by the Italian National Standards Body (UNI), provides a regulatory framework for the classification and management of costs related to the construction and maintenance of buildings. This standard can be applied to all building industry sectors, including new constructions, renovation, and maintenance interventions. According to UNI 8290, the building system is structured according to functional criteria, which permit its breakdown into three hierarchical levels: (1) technological unit classes, (2) technological units, and (3) classes of technical elements (Table 2). This classification is based on the recognition of the different elements that compose a building, organised according to their link with specific construction systems.

One of the most relevant contributions of the standard consists of its support in the management of building maintenance. UNI 8290 distinguishes between ordinary and extraordinary maintenance, enabling thus more efficient planning of interventions, optimising resource allocation and ensuring more accurate cost control throughout the life-cycle of the building. However, while the UNI 8290 standard is a valuable tool for the classification and management of maintenance costs, it is less suitable for estimating construction costs, as it considers the building as a completed entity and does not include transitional processes related to the construction phase, such as site setup, earthworks, and demolitions

Therefore, the UNI 8290 standard constitutes an essential reference for the planning and management of maintenance costs, by providing increased efficiency, transparency, and control across the entire life-cycle of the construction. For this reason, its application is mainly related to the estimation of maintenance costs of construction, as it excludes preliminary and transitional processes, which represent fundamental items for a comprehensive construction cost estimation.

On the other hand, the UNIFORMAT II standard is an international classification system for the management of expenses and activities in the building sector, covering the design, construction, and maintenance phases (Charette & Marshall, 1999). This system analyses and represents the projects according to categories and subcategories of structural, mechanical, and functional elements. Thus, it facilitates the planning and cost estimation across the entire life cycle of the project. This classification is based on a three-level hierarchical structure, with an additional level of subcomponents that support the management of complex projects. The UNIFORMAT identifies two main system categories, which are:

- Technological system (Building Elements, items A–F), including structural components, mechanical systems, and finishes;
- Environmental system (Building-Related Sitework, item G), referring to works connected to the building's external context.

Moreover, the UNIFORMAT II also considers the transitional elements of the project, such as environmental conditions, site logistics, and preparatory works (e.g., excavation, demolition,

removals). It supports a more accurate economic estimation and reduces uncertainties during the early project phases, also improving the communication among designers, contractors, and facility managers using a standardised terminology. Therefore, the UNIFORMAT II emerges as an essential tool for the organisation, cost management, and maintenance of buildings, ensuring greater precision in cost estimation and resource allocation.

4. Results

4.1 Definition of WBS model for NBS cost estimation

As highlighted in the previous section (Section 3.2), the adoption of the WBS model allows for a comprehensive description of interventions by identifying all work items and the elements that characterise them. This section describes the WBS model developed for cost estimation of NBS in urban contexts, identifying the cost items considered and illustrating its basic structure.

4.1.1 Cost items

Before proceeding with the description of the proposed WBS structure for the cost estimation of NBS interventions, it is necessary to clarify which cost items are considered. Since NBS involve the implementation of natural elements within built environments, requiring thus planned maintenance and management activities, the entire life-cycle of the NBS intervention has been considered for cost estimation.

However, it is necessary to declare and underline that some simplifications have been made in the cost estimation, as some cost items have been excluded. For this application, NBS have been managed as public interventions in open spaces. Therefore, the following cost items have been included:

- construction cost;
- maintenance cost (both ordinary and extraordinary);
- end-of-life cost, referring to the removal of the NBS.

Conversely, the following cost items have been excluded: (1) professional fees, (2) land acquisition cost, (3) taxes, (4) provisions for unexpected expenses, (5) cost of capital (debt), and (6) operational costs, considered in this case negligible or equal to zero.

4.1.2 WBS structure

This research aims to describe NBS interventions in all their components, classifying them in a hierarchical (top-down) manner to manage their complexity and estimate their overall life cycle costs. For this purpose, the WBS method proves to be the most suitable framework for representing and organising this information.

The UNI 8290 standard is characterised by some limitations, as it does not consider some cost items, such as environmental works, among others. For this reason, it has been necessary to adopt as a reference the international classification system UNIFORMAT II. This system includes the environmental system (Building Related Site Work, item G) and the preparatory works related to the construction site and open spaces elements, which are essential for the precise description of NBS and their components.

Table 3 represents the general structure of the WBS proposed for the NBS description and cost estimation. This structure is based on the classification defined by UNIFORMAT II. The first three levels are defined directly by the standard (Section 3.3). The fourth level, however, has been implemented following suggestions from the literature, as each sub-element corresponds to one or more work items that can be found in price lists (Charette & Marshall, 1999; Utica, 2011b). Table 4 provides an illustrative example of the four-level classification for the technological unit "G10 Site Preparation."

Table 3. General structure of the proposed WBS, based on the UNIFORMAT II classification system (elaboration from Charette & Marshall, 1999)

Level 1	Level 2	Level 3	Level 4
Major Group Elements	Group Elements	Individual elements	Sub-elements

Table 4. Classification into four levels of the technological unit G10 site preparation (elaboration from Charette & Marshall, 1999)

Level 1 Major Group Elements	Level 2 Group Elements	Level 3 Individual elements	Level 4 Sub-elements
		G1010 – Site Cleaning	G1011 – Clearing & Grubbing G1012 – Tree Removal and Thinning
G – Building Sitework	G10 – Site Preparation	G1020 – Site demolition and relocations	G1021 – Building demolition G1022 – Demolition of site components G1023 – Relocation of building and utilities G1024 – Utilities relocation

More in detail, for the estimation of construction costs, the four-level classification has been rigorously applied. On the contrary, for the estimation of maintenance and end-of-life costs, the structure has been adapted to consider the specific valuation requirements (Table A1, Table A2, Table A3, and Table A4 in Appendix).

Maintenance costs have been classified according to the frequency of interventions, distinguishing between ordinary and extraordinary maintenance. The main cost items associated with ordinary maintenance include grass cutting, lawn replanting, initial tree watering, and pruning every three years. Extraordinary maintenance interventions have been scheduled every twenty years, involving the removal of the superficial layer of the NBS to preserve the system’s filtering and drainage capacity.

Concerning the end-of-life phase, according to the limited number of required interventions, a simple list of the relevant items has been compiled.

4.2 Application of the WBS model for the NBS costs’ estimation for water management in the urban context

Following the structure of the proposed WBS (Table 3, Table 4), the analytical-deductive method (indirect approach)¹ has been applied for the cost estimation of NBS. This section illustrates the results obtained by applying the proposed WBS to estimate the costs of the selected NBS, namely: (1) permeable paving, (2) rain garden, (3) rain garden with trees, and (4) urban tree planting with concrete support.

Specifically, for the estimation of implementation, maintenance, and end-of-life costs, the *Prezziario* of the Lombardy Region 2024 has been used. Furthermore, the cost values estimated

¹ The analytical-deductive method applies a systemic approach to project for which the construction cost is under estimation (Utica, 2011a). Within this approach, the project is analysed as the sum of all its constituent parts, and the estimation of the cost is based on a detailed examination of the production process, identifying its conventional components (price items, work items, or specific construction activities). This method is based on the methodological principle of project decomposition into different units, enabling the development of a detailed classification framework that represents the virtual construction site and the characteristics of the operations required to achieve the project outcome. It involves the preparation of a document that records the project quantities associated with the conventional work items.

through the proposed WBS have been compared with average parametric values available in the literature.

4.2.1 Permeable paving

The first analysed NBS is the permeable paving. This type of system can be employed in many contexts, and it is suitable for the construction of surfaces intended for both pedestrian and vehicular use. The implementation of these solutions can support the urban drainage network by promoting the infiltration of stormwater, particularly first-flush runoff, and facilitating its purification through the action of plant roots and soil, which treat and degrade pollutants.

The stratigraphy (Fig. 4) permits the surface infiltration of rainwater into the soil through the use of modular elements, such as concrete blocks or reinforced plastic mats, characterised by voids or joints filled with permeable inert material, such as sand, gravel, or vegetated soil, enabling thus runoff infiltration and water purification (Bono et al., 2020).

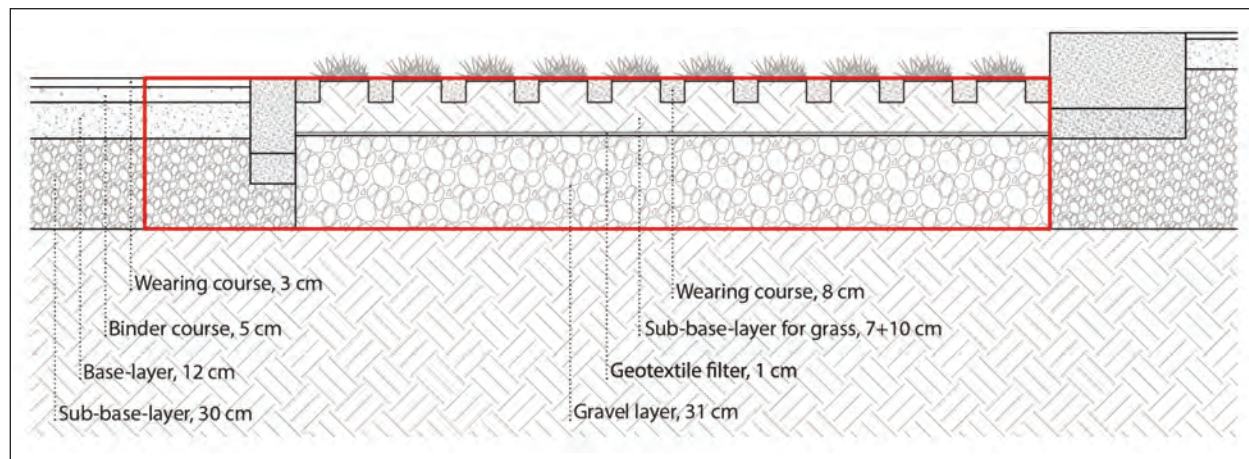


Figure 4. Permeable paving stratigraphy (elaboration from Bono et al., 2020).

The construction cost estimated through the application of the proposed WBS amounts to €141.63/m² (Table 4). The annual ordinary maintenance cost is estimated to be equal €0.98/m². The estimated cost for extraordinary maintenance, scheduled every twenty years, amounts to €55.70/m². Concerning the cost of the end-of-life (40–60 years), which corresponds to the removal of the solution, it has been estimated as €24.86/m². Therefore, the cost values estimated using the proposed WBS have been compared with the cost values reported in the literature, as shown in Table 5.

This comparison reveals that the construction cost estimated through the WBS is higher than the values reported in the literature (Bonsignori & Senes, 2022; Liu et al., 2016). This discrepancy can be attributed to the fact that the literature values have been estimated using the synthetic method by comparing similar projects and averaging the results. This approach may lead to the underestimation of some cost items related to the analysed WBS (Table A1 in Appendix). Similarly, the extraordinary maintenance cost estimated through the WBS is higher than the average value reported in the literature, which is equal to €3.72/m². On the contrary, the ordinary maintenance cost is consistent with the values reported in the literature.

Table 5. Comparison of estimated costs with WBS and costs reported in the literature (authors' elaboration)

Source	NBS	Construction cost		Maintenance cost		End-of-life cost	U.M.
		Min.	Max.	Ordinary	Extraordinary		
(Bonsignori & Senes, 2022)	Permeable paving	27.70	55.40	-	-	-	€ ₂₀₂₄ /m ²
(Nature for cities, 2018)	Permeable paving	21.15		1.18	3.72	-	€ ₂₀₂₄ /m ²
Costs estimated with the proposed WBS method			141.63	0.98	55.70	24.86	€ ₂₀₂₄ /m ²

4.2.2 Rain Garden

Rain gardens are ground depressions designed to collect and infiltrate rainwater, which flows into them and is purified through the action of vegetation, soil, and microorganisms (Bonsignori & Senes, 2022). These systems capture runoff from surrounding surfaces and are capable of managing a surface from five to fifteen times its own area, reducing both the volume and speed of stormwater runoff (Bono et al., 2020). Figure 5 illustrates the stratigraphy of the rain garden solution.

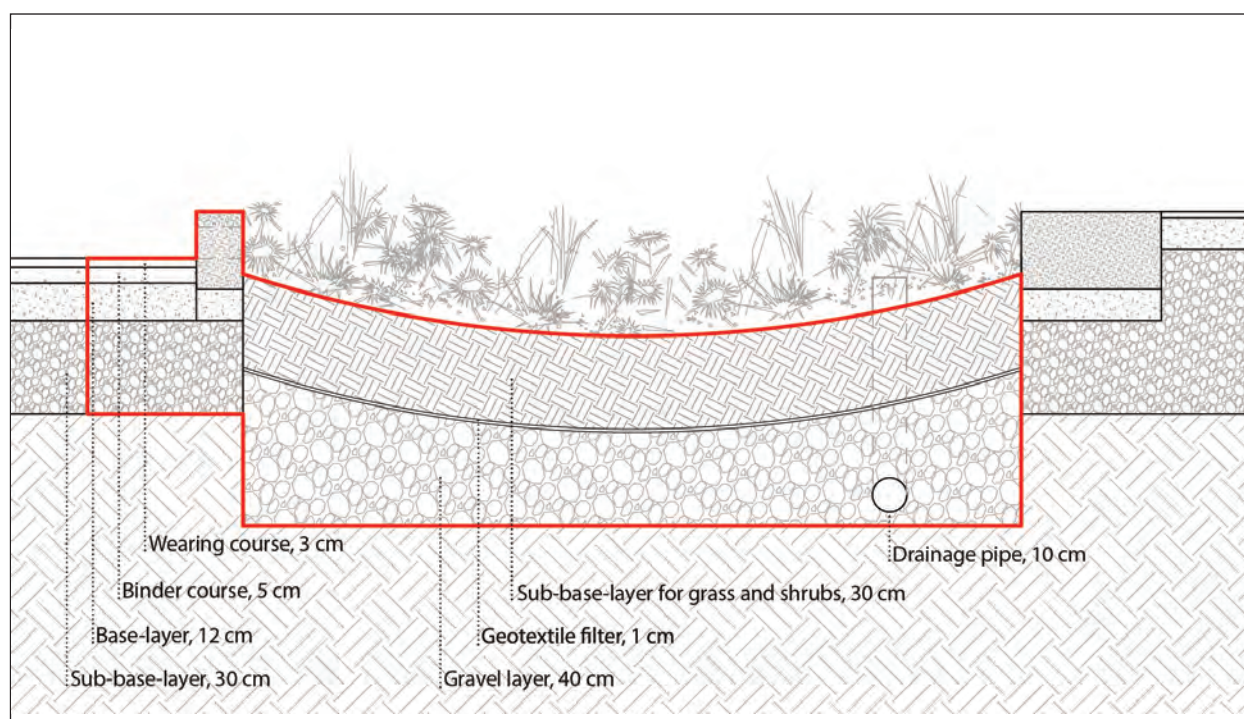


Figure 5. Rain garden stratigraphy (elaboration from Bono et al., 2020).

The estimated construction cost amounts to €166.13/m². The cost of the drainage system has been calculated separately, as it is not considered a mandatory component. Its cost is €15.86/m² (Table A2 in Appendix). The annual maintenance cost has been estimated equal to €0.56/m², while the end-of-life cost, which corresponds to the removal of the entire system after 40–60 years, has been estimated as €27.47/m².

As in the previous case, the cost values estimated using the WBS have been compared with

data available in the literature (Table 6). The reviewed studies report a construction cost ranging from €99.72/m² to €166/m², and an ordinary maintenance cost ranging from €8/m² to €17/m² (Bonsignori & Senes, 2022).

From this comparison, it can be observed that the estimated construction cost falls within the minimum and maximum ranges reported in the literature. The discrepancy in maintenance costs can be attributed to the selection of plant species used for the estimation, according to the wide variability in maintenance costs associated with different types of vegetation.

Table 6. Comparison of estimated costs with WBS and costs reported in the literature (authors' elaboration)

Source	NBS	Construction cost		Maintenance cost		End of life cost	U.M.
		Min.	Max.	Ordinary	Extraordinary		
(Bonsignori & Senes, 2022)	<i>Rain garden</i>	99.72	166.20	7.98	16.62	-	€ ₂₀₂₄ /m ²
Costs estimated with the proposed WBS method	<i>Rain garden</i>	166.13		0.56	2.92	27.47	€ ₂₀₂₄ /m ²

4.2.3 Rain garden with tree planting

The stratigraphy of the rain garden with tree planting slightly differs from the solution described in the previous section (Fig. 6). The section of the rain garden with trees is deeper to accommodate tree growth. Furthermore, this typology does not include a drainage layer, as it could limit the deep development of the root system and damage it due to stagnant water.

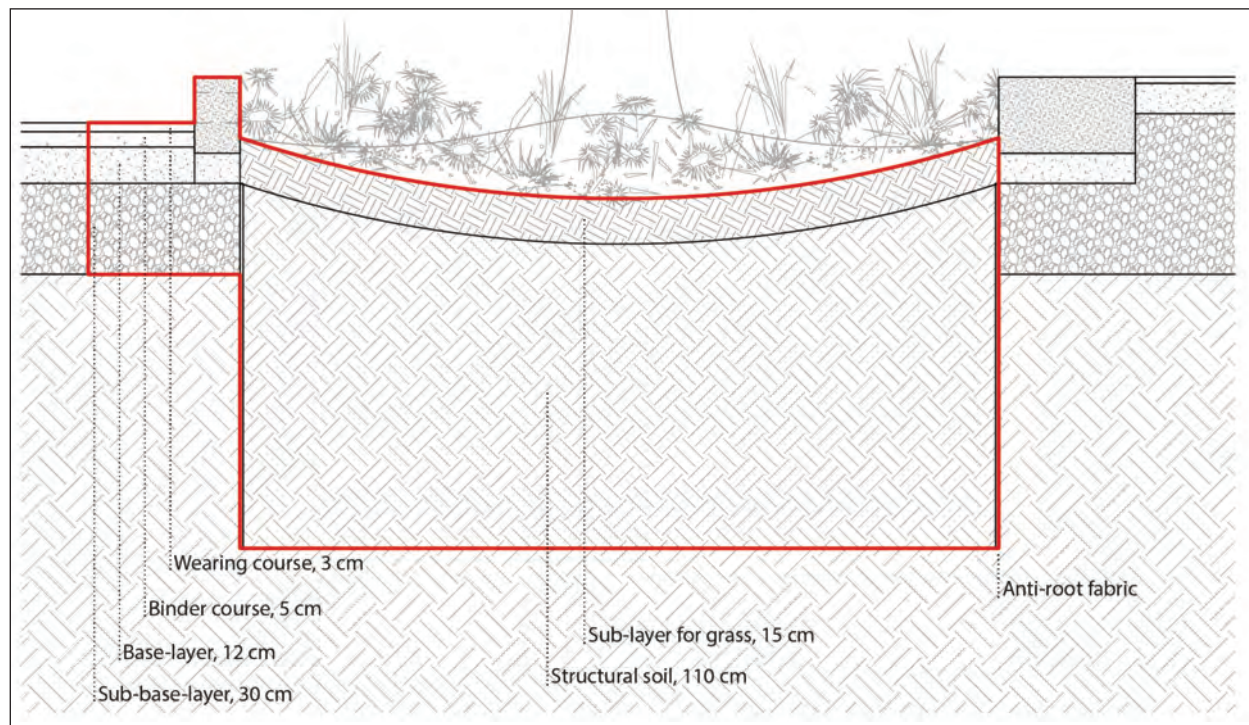


Figure 6. Raingarden with tree planting stratigraphy (elaboration from Bono et al., 2020)

The estimated construction cost for the rain garden has been estimated equal to €192.75/m², while the implementation cost for tree planting ranges from €87.34/unit to €436.52/unit. This variation depends on the size of the trees (Table A3 in Appendix). The estimated annual maintenance cost for the lawn is €0.56/m². For the trees, an irrigation cost of €14.40/m² is estimated, required during the first three years, along with a pruning cost ranging from €28.79/unit to €138.07/unit, scheduled every three years. The end-of-life cost, corresponding to the removal of the entire system after 40–60 years, is estimated to be equal to €37.76/m². While the amount for tree removal is equal to €338.84/each. According to the literature (Table 7), tree planting costs range from €50/each to €1,500/each, reflecting the wide variety of tree species. Maintenance costs, on the other hand, range from €10/each to €60/each (Morello et al., 2019; Nature for cities, 2018).

Table 7. Comparison of estimated costs with WBS and costs reported in the literature (authors' elaboration)

Source	NBS	Construction cost		Maintenance cost		End of life cost	U.M.
		Min.	Max.	Ordinary	Extraordinary		
(Morello et al., 2019)	Tree	50.59	86.01	10.12	22.26	-	€ ₂₀₂₄ /cad.
(Nature for cities, 2018)	Tree	200.00	1,500.00	25.00	60.00	-	€ ₂₀₂₄ /cad.
Costs estimated with the proposed WBS method	Tree	87.34	436.52	Irrigation (first 3 years)		338.84	€ ₂₀₂₄ /cad.
				14.40			
				Maintenance (0-5 years)			
				28.79			
				Maintenance (6-15 years)			
				66.17			
Maintenance (16-40 years)		€ ₂₀₂₄ /cad.					
		138.07		€ ₂₀₂₄ /cad.			
	Rain garden	192.75		0.56	1.76	37.76	€ ₂₀₂₄ /cad.

4.2.3 Urban tree planting

Trees are the NBS with the highest degree of multifunctionality. This feature intensifies their benefits, but also makes them the most complex NBS to manage. The advantages associated with tree planting are wider than the stormwater regulation. Trees intercept and retain rainwater through their branches and leaves, absorbing it through their root and subsequently releasing it into the atmosphere. They also promote soil infiltration, provide shade, decrease temperatures through evapotranspiration, capture air pollutants, produce oxygen, enhance the landscape, and support biodiversity.

However, compared to other NBS, tree planting also faces many challenges, such as the risks associated with the dimensional growth of trees and the relatively high maintenance costs. To ensure optimal performance, it is recommended not to exceed a 5:1 ratio between impermeable surface area and vegetated area (Bonsignori & Senes, 2022).

Trees are typically planted in rows and can be installed using different techniques (Nature for cities, 2018), including:

- planting in a mixed soil composed of aggregates and soil to enhance structural stability;
- the use of substructures, generally made of plastic or reinforced concrete, designed to support the overlying pavement and filled with growing substrate;

- the installation of concrete boxes, either open or closed at the bottom, capable of bearing pavement loads and filled with substrate suitable for tree growth (Bonsignori & Senes, 2022).

Trees can also be integrated with other NBS, such as rain gardens, to reduce stormwater runoff and optimise their management (Nature for cities, 2018). This study analyses the trees with reinforced concrete substructures (Fig. 7).

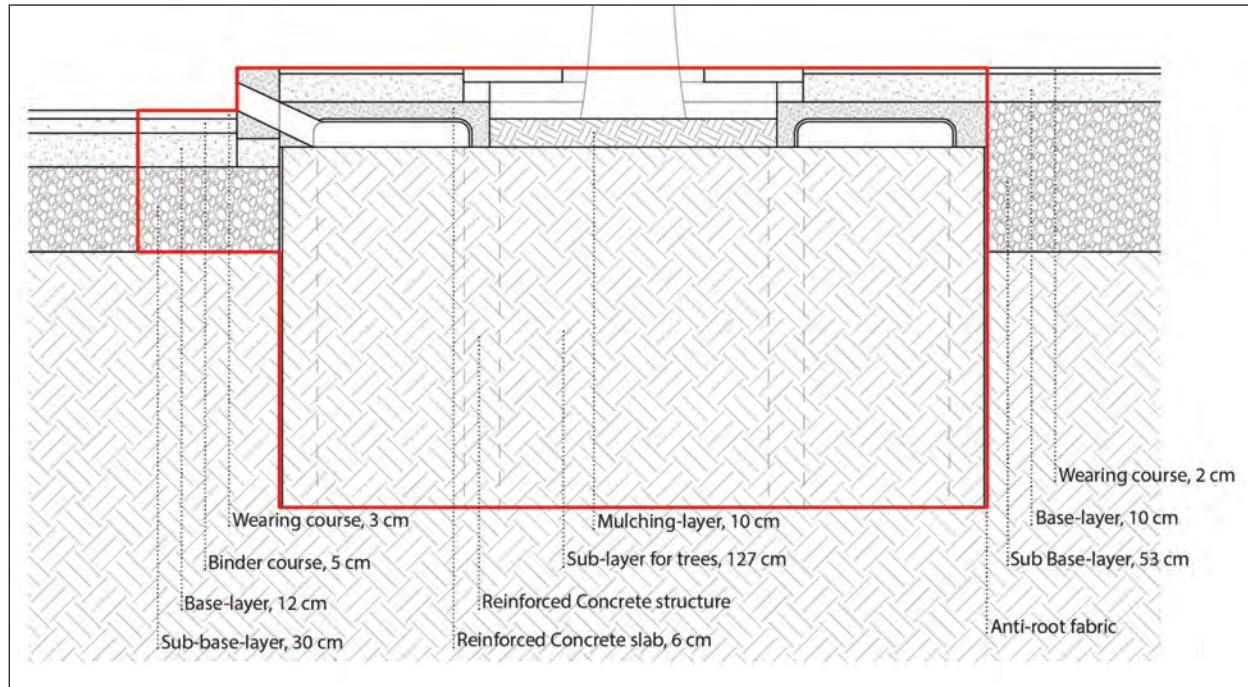


Figure 7. Trees with reinforced concrete substructure stratigraphy (elaboration from Bono et al., 2020).

The estimated construction cost for this solution is higher than the amount estimated for the other analysed NBS. It is mainly due to the concrete substructure, the paved surface area, and the protective grate installed at the tree base (Fig. 7). The estimated construction cost is €391.18/m² for the system and €438.45/each (Table A4 in Appendix). The maintenance cost for the first three years is estimated at €14.40/each. The end-of-life cost includes the removal of the system after 40–60 years and the tree removal, estimated respectively to be equal to €73.73/m², and to €310.41/each. The literature provides limited comparative data for this specific solution (Table 8). The reported construction costs for similar systems range between €100/m² and €166/m². The reported maintenance cost is equivalent to that referred to the rain garden solution. The cost value estimated using the proposed WBS is consistent with the price reported by «Pontarolo Engineering Spa,» which offers a price of €316.70/m² for concrete substructure systems for tree planting.

Table 8. Comparison of estimated costs with WBS and costs found in literature (authors' elaboration)

Source	NBS	Construction cost		Maintenance cost		End of life cost	U.M.
		Min.	Max.	Ordinary	Extraordinary		
(Bonsignori et al., 2022)	Reinforced concrete sub-structure	100	166	7.98	16.62	-	€ ₂₀₂₄ /cad.
Pontarolo E. Spa	Reinforced concrete sub-structure	316.70		-	-	-	€ ₂₀₂₄ /cad.

Follow **Table 8**. Comparison of estimated costs with WBS and costs found in literature (authors' elabora-

Source	NBS	Construction cost		Maintenance cost		End of life cost	U.M.
		Min.	Max.	Ordinary	Extraordinary		
	Reinforced concrete sub-structure	391.18		0.56	1.76	73.73	€ ₂₀₂₄ /cad.
Costs estimated with the proposed WBS method	Trees	438.45		Irrigazione (primi 3 anni)		310.41	€ ₂₀₂₄ /cad.
				14.40			
				Manutenzione (0-5 anni)			
				28.79			
				Manutenzione (6-15 anni)			
				66.17			
Manutenzione (16-40 anni)							
138.07							

5. Discussion and conclusions

NBS are widely recognised as effective strategies for climate change mitigation and adaptation in urban environments (Carter et al., 2021; Olivieri et al., 2024). However, their operational implementation is limited and fragmented due to inadequate knowledge and awareness about NBS implementation within the associated benefits (Netti et al., 2024; Vollaers et al., 2021). Moreover, the lack of suitable tools for cost estimation according to the overall life-cycle of these solutions has to be added to the criticalities that negatively affect the NBS implementation (European Commission, 2020; Sowińska-Świerkosz & García, 2022).

This research is based on the research Q_7 and aims to address the lack of suitable and operative tools for estimating the life cycle cost of NBS, considering their ecological nature and the characteristics of the implementation context. The outcome of the present research is a WBS model based on the UNIFORMAT II classification system, which enables the analysis of external works through three hierarchical levels, supplemented by a fourth level dedicated to sub-components. This additional level facilitates a more detailed cost estimation of the various construction items. The proposed model has thus been applied for estimating the costs of NBS for water management in urban contexts. This first application of the proposed WBS model permitted to underline both its major strengths and some criticalities. First of all, this application demonstrated the effectiveness of the proposed WBS in representing NBS in a hierarchical and organised manner, breaking them down into their essential components. Therefore, this approach operatively supports the management of the complexity and improves the transparency of cost estimation. Furthermore, the hierarchical structure of the WBS can be adapted to the specific features of both the specific NBS and the implementation context, offering greater flexibility in the planning and implementation of interventions.

One of the most significant advantages of the WBS lies in its modular and adaptable structure, making it a general framework structure. According to this adaptive structure, components can be added or removed depending on the specific needs of each intervention. Furthermore, its adoption provides a clear and standardised framework, enhancing communication among the various stakeholders involved in the decision-making process.

This research also highlights the importance of estimating costs across the overall life cycle of NBS to ensure their sustainable implementation and management. Considering also maintenance and end-of-life costs is essential for an accurate evaluation of the economic impact and long-term sustainability of these solutions. Indeed, one of the main innovative elements is the estimation of the end-of-life cost, which is often less explored in the literature, but is

fundamental for effective resource management (Section 2.3). At the same time, the application revealed the issue of the availability of detailed and consolidated NBS stratigraphy, necessary for the development of a precise WBS.

In conclusion, the proposed model represents a significant contribution to the economic evaluation of NBS, offering a replicable and standardised method for life cycle cost estimation and for identifying the stakeholders on whom the associated costs fall. Therefore, the proposed WBS emerges as a valuable tool for the design and management of NBS, supporting the adoption of more sustainable strategies for urban climate adaptation (Del Giudice et al., 2014; Stanganelli et al., 2021). Concerning the future development and implementation of the proposed WBS model, this research aims to develop a pricing list focused on urban NBS, providing a practical reference to support both public administrations and private stakeholders in the design and management of these solutions by supplying reliable information on their life cycle-costs.

Author contributions

Conceptualisation: G.D, A.G, A.O; Methodology: G.D, A.G, A.O; Data collection: A.G; Formal Analysis: G.D; A.G; Original draft: G.D, A.G; Revision and editing: G.D; M.D; A.O; Supervision: M.D; A.O.

Bibliography

- Aiona A., Coker A., Dunlap I., Simpson A. & Stevens H. (2020). City of Portland 2020 Stormwater Management Manual. December, 458. <https://www.portland.gov/bes/stormwater/swmm#toc-the-2020-stormwater-management-manual>
- Bauduceau N., Berry P., Cecchi C., Elmqvist T., Fernandez M., Hartig T., Krull W., Mayerhofer E., Sandra N. & Noring, L. (2015). Towards an EU research and innovation policy agenda for nature-based solutions & re-naturing cities: Final report of the horizon 2020 expert group on 'nature-based solutions and re-naturing cities'.
- Bono L., Callerio M., Conte G., Rizzo A. & Sejdullahu I. (2020). Soluzioni Naturalistiche (Nbs) Per La Città Metropolitana Di Milano. www.lifemetroadapt.eu
- Bonsignori R. & Senes G. (2022). Soluzioni progettuali tipo di infrastrutture verdi per la gestione delle acque meteoriche. <https://www.ilverdeeditoriale.com/PubFree/SuDS/SuDS.pdf>
- Carter T.R., Benzie M., Campiglio E., Carlsen, H., Fronzek S., Hildén M., Reyer C.P.O. & West C. (2021). A conceptual framework for cross-border impacts of climate change. *Global Environmental Change*, 69, 102307. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2021.102307>
- Castellar J.A.C., Popartan L.A., Pueyo-Ros J., Atanasova N., Langergraber G., Säumel I., Corominas L., Comas J. & Acuña V. (2021). Nature-based solutions in the urban context: terminology, classification and scoring for urban challenges and ecosystem services. *Science of The Total Environment*, 779, 146237. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.146237>
- Charette R.P. & Marshall H.E. (1999). UNIFORMAT II Elemental Classification for Building Specifications, Cost Estimating, and Cost Analysis, NISTIR 6389, Gaithersburg, MD: National Institute of Standards and Technology (p. 109). <http://www.uniformat.com/support-files/nistir-6389.pdf%5Cnhttp://fire.nist.gov/bfrlpubs/build99/PDF/b99080.pdf>
- Cohen-Shacham E., Andrade A., Dalton J., Dudley N., Jones M., Kumar C., Maginnis, S., Maynard, S., Nelson C.R., Renaud F.G., Welling R. & Walters G. (2019). Core principles for successfully implementing and upscaling Nature-based Solutions. *Environmental Science & Policy*, 98(May), 20–29. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2019.04.014>
- Davies C., Chen W.Y., Sanesi G. & Laforteza R. (2021). The European Union roadmap for implementing nature-based solutions: A review. *Environmental Science & Policy*, 121(April), 49–67. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2021.03.018>
- Del Giudice V., Passeri A., Torrieri F. & De Paola P. (2014). Risk Analysis within Feasibility Studies: An Application to Cost-Benefit Analysis for the Construction of a New Road. *Applied Mechanics and Materials*, 651–653, 1249–1254. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMM.651-653.1249>

- Dumitru A., Wendling L., Eiter S. & Pilla F. (2021). Evaluating the Impact of Nature-based Solutions: A Handbook for Practitioners. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.10757.47843>
- European Commission. (2020). Nature-based solutions : state of the art in EU-funded projects (T. Freitas, S. Vandewoestijne & T. Wild (eds.)). Publications Office of the European Union. <https://doi.org/doi/10.2777/236007>
- Faivre N., Fritz M., Freitas T., de Boissezon B. & Vandewoestijne S. (2017). Nature-Based Solutions in the EU: Innovating with nature to address social, economic and environmental challenges. *Environmental Research*, 159, 509–518. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2017.08.032>
- Ferrans P., Torres M.N., Temprano J. & Rodríguez Sánchez J.P. (2022). Sustainable Urban Drainage System (SUDS) modeling supporting decision-making: A systematic quantitative review. *Science of The Total Environment*, 806, 150447. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.150447>
- Fletcher T.D., Shuster W., Hunt W.F., Ashley R., Butler D., Arthur S., Trowsdale S., Barraud S., Semadeni-Davies A., Bertrand-Krajewski J.-L., Mikkelsen P.S., Rivard G., Uhl M., Dagenais D. & Viklander M. (2015). SUDS, LID, BMPs, WSUD and more – The evolution and application of terminology surrounding urban drainage. *Urban Water Journal*, 12(7), 525–542. <https://doi.org/10.1080/1573062X.2014.916314>
- Forte C. (1973). *Elementi di estimo urbano*. Etas Kompass. <https://books.google.it/books?id=74kPngEACAAJ>
- Gaona Currea J.A., Larrinaga López J., León Sarmiento J., Ortega Minakata A.T., Gorrotxategi Carbajo J., Soto Trujillo C., Camacho Otero J. & Ortiz de Urbina I. (2024). Ecohydrological Nature based-Solutions for Sustainable Cities: A Case Study based on Water Security and Modeling. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1363(1), 012076. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1363/1/012076>
- Institute Project Management. (2017). *Guide to the Project Management Body of Knowledge (PMBOK®Guide)—Sixth Edition*. Project Management Institute. <https://books.google.it/books?id=Rzc2DwAAQBAJ>
- International Union for Conservation of Nature. (2020). IUCN Global Standard for Nature-based Solutions: a user-friendly framework for the verification, design and scaling up of NbS : first edition (Arabic version). In *Global Standard for Nature-based Solutions: a user-friendly framework for the verification, design and scaling up of NbS* : IUCN, International Union for Conservation of Nature. <https://doi.org/10.2305/VCDL1542>
- Kellagher R., Martin P., Jefferies C., Bray R., Shaffer P., Wallingfor H.R., Woods-Ballard B., Woods Ballard B., Construction Industry Research and Information Association, Great Britain, Department of Trade and Industry & Environment Agency. (2015). *The SUDS Manual*. In Woods Ballard, B. Wilson, S. Udale-Clarke, H. Illman, S. Scott, T. Ashley, R. Kellagher, R. <http://www.persona.uk.com/A47postwick/deposit-docs/DD-181.pdf>
- Le Coent P., Graveline N., Altamirano M.A., Arfaoui N., Benitez-Avila C., Biffin T., Calatrava J., Dartee K., Douai A., Gnonlonfin A., Hérivaux C., Marchal R., Moncoulon D. & 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(June), 100002. <https://doi.org/10.1016/j.nbsj.2021.100002>
- Liu W., Chen W., Feng Q., Peng C. & Kang P. (2016). Cost-Benefit Analysis of Green Infrastructures on Community Stormwater Reduction and Utilization: A Case of Beijing, China. *Environmental Management*, 58(6), 1015–1026. <https://doi.org/10.1007/s00267-016-0765-4>
- Maes J., Teller A., Erhard M., Condé S., Vallecillo S., Barredo J., Paracchini M., Abdul Malak D., Trombetti M., Vigiak O., Zulian G., Addamo A., Grizzetti B., Somma F., Hagyo A., Vogt P., Polce C., Jones A., Marin A., ... Santos-Martín F. (2020). Mapping and assessment of ecosystems and their services : an EU wide ecosystem assessment in support of the EU biodiversity strategy : supplement (indicator fact sheets). Publications Office. <https://doi.org/doi/10.2760/519233>
- Masiero M., Biasin A., Amato G., Malaggi F., Pettenella D., Nastasio P. & Anelli S. (2022). Urban Forests and Green Areas as Nature-Based Solutions for Brownfield Redevelopment: A Case Study from Brescia Municipal Area (Italy). *Forests*, 13(3), 444. <https://doi.org/10.3390/f13030444>

- Morello E., Mahmoud I. & Colaninno N. (2019). Catalogue of Nature-Based Solutions for Urban Regeneration Pre-Final Report. September, 107.
- Nature for cities. (2018). NBS multi-scalar and multi-thematic typology and associated database (Issue 730468). <https://ec.europa.eu/research/participants/documents/downloadPublic?documentIds=080166e5bfff18eb7&appId=PPGMS>
- Netti A.M., Abdelwahab O.M.M., Datola G., Ricci G.F., Damiani P., Oppio A. & Gentile F. (2024). Assessment of nature-based solutions for water resource management in agricultural environments: a stakeholders' perspective in Southern Italy. *Scientific Reports*, 14(1), 24668. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-76346-5>
- Olivieri F., Sassenou L.-N. & Olivieri L. (2024). Potential of Nature-Based Solutions to Diminish Urban Heat Island Effects and Improve Outdoor Thermal Comfort in Summer: Case Study of Matadero Madrid. *Sustainability*, 16(7), 2778. <https://doi.org/10.3390/su16072778>
- Pontarolo Engineering. (2024, May 27). Pontarolo Engineering Soluzioni <https://pontarolo.com/soluzioni/>
- Raymond C., Breil M., Nita M., Kabisch N., de Bel M., Enzi V., Frantzeskaki N., Geneletti G., Lovinger L., Cardinaletti M., Basnou C., Monteiro A., Robrecht H., Sgrigna G., Muhari L., Calfapietra C. & Berry P. (2017). An impact evaluation framework to support planning and evaluation of nature-based solutions projects. Report prepared by the EKLIPSE Expert Working Group on Nature-based Solutions to Promote Climate Resilience in Urban Areas. Centre for Ecology and Hydrology.
- Sikorska D., Macegoniuk S., Łaszkiwicz 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(June 2019), 126579. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2019.126579>
- Sirishantha U. & Rathnayake U. (2017). Sustainable urban drainage systems (SUDS) – What it is and where do we stand today? *Engineering and Applied Science Research*, 44, 235–241. <https://doi.org/10.14456/easr.2017.36>
- Sistema Nazionale per la Protezione Dell'Ambiente. (2024). Consumo di suolo, dinamiche territoriali e servizi ecosistemici (Vol. 15, Issue 1).
- Somaris G., Stagakis S. & Chrysoulakis N. (2020). ThinkNature Nature-Based Solutions Handbook. ThinkNature project Funded by the EU Horizon 2020 Research Innovation Programme (Issue 730338).
- Sowińska-Świerkosz B. & García J. (2021). A new evaluation framework for nature-based solutions (NBS) projects based on the application of performance questions and indicators approach. *Science of The Total Environment*, 787, 147615. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.147615>
- Sowińska-Świerkosz B. & García J. (2022). What are Nature-based solutions (NBS)? Setting core ideas for concept clarification. *Nature-Based Solutions*, 2(January), 100009. <https://doi.org/10.1016/j.nbsj.2022.100009>
- Stanganelli M., Torrieri F., Gerundo C. & Rossitti M. (2021). A Strategic Performance-Based Planning Methodology to Promote the Regeneration of Fragile Territories. In *Lecture Notes in Civil Engineering* (Vol. 146, pp. 149–157). Springer Science and Business Media Deutschland GmbH. https://doi.org/10.1007/978-3-030-68824-0_16
- Utica G. (2011a). La stima sintetica del costo di costruzione. Il computo metrico e il coputo metrico estimativo per classi di elementi tecnici. Maggioli.
- Utica G. (2011b). Tecniche avanzate di analisi e gestione dei progetti. McGraw-Hill Companies. <https://books.google.it/books?id=Vi08YgEACAAJ>
- Vollaers,V., Nieuwenhuis E., van de Ven F. & Langeveld J. (2021). Root causes of failures in sustainable urban drainage systems (SUDS): an exploratory study in 11 municipalities in The Netherlands. *Blue-Green Systems*, 3(1), 31–48. <https://doi.org/10.2166/bgs.2021.002>
- Wickenberg B., McCormick K. & Olsson J.A. (2021). Advancing the implementation of nature-based solutions in cities: A review of frameworks. *Environmental Science & Policy*, 125, 44–53. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.envsci.2021.08.016>

Table A2. WBS for rain garden

Level 1		Level 2		Level 3		Level 4	
Major Group Elements	Sub-Elements	Group Elements	Individual Elements	Sub-Elements	Individual Elements	Sub-Elements	Individual Elements
ID	Name	ID	Name	ID	Name	ID	Name
Unit	Cost	Unit	Cost	Unit	Cost	Unit	Cost
G	Building Site Work Rain Garden	G10	Site Preparation	G1010	Site Demolition and Relocations	G1011	Demolition of Site Components
1 m ²	166.13 €	1 m ²	40.05 €	1 m ²	24.17 €	1 m ²	20.14 €
				G1020	Site Earthwork	G1021	Site Grading Excavation
				1 m ²	15.88 €	1 m ²	6.55 €
						G1022	Site Shoring
						1 m	18.66 €
				G2010	Roadways	G2011	Bases and Sub-Bases
				1 m ²	85.04 €	1 m ²	71.49 €
				G2020	Landscaping	G2021	Top Soil & Planting Beds
				1 m ²	69.02 €	1 m ²	58.35 €
						G2022	Seeding and Sodding
						1 m ²	0.37 €
						G2023	Edging
						1 m	24.36 €
						G3011	Piping
						1 m ²	7.82 €
						G3012	Headwalls and Catch Basins
						1 ea	201.06 €
M	Maintenance	M1011	Annual Maintenance	D	Demolition	D1011	End-of-site
		1 m ²	0.56 €			1 m ²	27.47 €
		M1012	Extraordinary Maintenance				
		1 m ²	47.67 €				

Follow **Table A4**. WBS for urban tree planting

M				D				O			
M0703				M0711				M0711			
Tree Planting (1-4 year)				Tree Planting (5-9 year)				Tree Planting (10-14 year)			
S	M	L	Cost	S	M	L	Cost	S	M	L	Cost
1.00	1.00	1.00	14,400 €	1.00	1.00	1.00	14,400 €	1.00	1.00	1.00	14,400 €
1.00	1.00	1.00	28,796 €	1.00	1.00	1.00	28,796 €	1.00	1.00	1.00	28,796 €
1.00	1.00	1.00	56,171 €	1.00	1.00	1.00	56,171 €	1.00	1.00	1.00	56,171 €
1.00	1.00	1.00	112,342 €	1.00	1.00	1.00	112,342 €	1.00	1.00	1.00	112,342 €
Tree Maintenance (1-4 year)				Tree Maintenance (5-9 year)				Tree Maintenance (10-14 year)			
1.00	1.00	1.00	13,827 €	1.00	1.00	1.00	13,827 €	1.00	1.00	1.00	13,827 €
1.00	1.00	1.00	27,654 €	1.00	1.00	1.00	27,654 €	1.00	1.00	1.00	27,654 €
1.00	1.00	1.00	55,308 €	1.00	1.00	1.00	55,308 €	1.00	1.00	1.00	55,308 €
1.00	1.00	1.00	110,616 €	1.00	1.00	1.00	110,616 €	1.00	1.00	1.00	110,616 €
Planting				Planting				Planting			
1.00	1.00	1.00	87,246 €	1.00	1.00	1.00	87,246 €	1.00	1.00	1.00	87,246 €
1.00	1.00	1.00	174,492 €	1.00	1.00	1.00	174,492 €	1.00	1.00	1.00	174,492 €



Bernardo Simonetti

DOWNLOAD
Normativa e
Fogli di calcolo

Acustica ambientale ed edilizia

Il Manuale del Tecnico Competente



Seconda Edizione

Aggiornata con

- UNI/TS 11844:2022
- DM Transizione ecologica
22 giugno 2022

- ✓ Requisiti del Tecnico Competente in Acustica (TCA)
- ✓ Acustica architettonica
- ✓ Acustica nei luoghi di lavoro
- ✓ Acustica forense


TIPOGRAFIA DEL GENIO CIVILE

www.build.it


TIPOGRAFIA DEL GENIO CIVILE



PREZZI INFORMATIVI DELL'EDILIZIA



www.build.it
Per info tel. 06.21060305

deidei
TIPOGRAFIA DEL GENIO CIVILE

La fattibilità degli interventi *Nature-Based Solutions* (NBS): la stima dei costi attraverso il modello *Work Breakdown Structure* (WBS)

Giulia Datola^{1*}, Andrea Ghisoni², Marta Dell'Ovo¹, Alessandra Oppio¹

¹ Dipartimento di Architettura e Studi Urbani (DAStU), Politecnico di Milano, Via Bonardi 3, 20133 Milano, Italia; giulia.datola@polimi.it; marta.dell'ovo@polimi.it; alessandra.oppio@polimi.it

² Politecnico di Milano, Piazza Leonardo da Vinci 32, 20133 Milano, Italia; andrea.ghisoni1@polimi.it

* autore corrispondente

Parole chiave

Nature-Based Solution (NBS), Valore di costo globale, *Work Breakdown Structure* (WBS), Ciclo di vita

Abstract

L'implementazione delle *Nature-Based Solutions* (NBS) in ambito urbano, promossa da diverse politiche a livello nazionale e internazionale, rappresenta una strategia sostenibile per la mitigazione e l'adattamento ai cambiamenti climatici. Tuttavia, nonostante il loro potenziale nel favorire la transizione verso città più resilienti e sostenibili, la loro implementazione operativa risulta ancora parziale. Una delle principali criticità che ne ostacola la diffusione, oltre a una limitata informazione e consapevolezza sui benefici, è la mancanza di strumenti efficaci per la stima dei costi relativi all'intero ciclo di vita di tali soluzioni. Questo studio si pone l'obiettivo di rispondere a questa necessità, proponendo l'utilizzo della *Work Breakdown Structure* (WBS) come strumento per la rappresentazione gerarchica e strutturata delle NBS. L'approccio permette di fornire in modo congiunto una dettagliata descrizione degli interventi e una chiara classificazione delle voci di costo, migliorando la pianificazione e la gestione economica di tali soluzioni. Il modello proposto è stato applicato per la stima dei costi delle NBS per la gestione delle acque urbane (SUDS), dimostrandone l'efficacia nel fornire una valutazione economica analitica e adatta alle specificità di ciascuna soluzione. Uno dei maggiori punti di forza della WBS è la sua struttura modulare e flessibile, che la rende un riferimento generale, applicabile e adattabile a diversi contesti progettuali. Inoltre, la ricerca ha evidenziato l'importanza della stima dei costi lungo l'intero ciclo di vita delle NBS per garantirne un'implementazione e gestione sostenibile, contribuendo così alla loro diffusione e integrazione nelle strategie urbane di adattamento climatico.

1. Introduzione

Il tema del cambiamento climatico e la conseguente adozione di misure di adattamento e di mitigazione negli ambiti urbani stanno assumendo un'importanza crescente. L'innalzamento delle temperature medie, la diminuzione complessiva delle precipitazioni e la maggiore frequenza di eventi meteorologici estremi (Carter et al., 2021; Olivieri et al., 2024) rendono vulnerabili le esistenti infrastrutture urbane, che si rivelano spesso inadeguate a garantire una efficace gestione della portata degli eventi estremi (Davies et al., 2021; Faivre et al., 2017). In questo contesto, le *Nature-Based Solutions* (NBS) si configurano come strategie per l'implementazione di interventi di mitigazione e adattamento dei sistemi urbani (Masiero et al., 2022) supportando la transizione verso uno sviluppo sostenibile e

resiliente nelle città (Raymond et al., 2017) attraverso la massimizzazione delle interazioni tra natura, società ed economia (Dumitru et al., 2021).

L'implementazione delle NBS negli ambienti urbani è incoraggiata e inquadrata all'interno di politiche internazionali e nazionali, come il *Green Deal*, i *Sustainable Development Goals* (SDGs) e il Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza (PNRR). Questi *framework* riconoscono le NBS come strategie di rigenerazione urbana per la loro capacità di affrontare e fornire allo stesso tempo benefici multi-dimensionali legati alla dimensione ambientale, sociale ed economica (Wickenberg et al., 2021). Pertanto, NBS come la silvicoltura urbana, i Sistemi di Drenaggio Urbano Sostenibile (SUDS) e le reti infrastrutturali blu-verdi (Dumitru et al. 2021) possono offrire molteplici benefici, tra cui la riduzione del rischio di inondazioni, inquinamento delle acque, inquinamento dell'aria ed effetti isola di calore (Sowińska-Świerkosz & García, 2022).

Tuttavia, l'implementazione operativa delle NBS nei contesti urbani e peri-urbani rimane limitata, non solo a causa di un'inadeguata formazione e informazione sull'applicazione di queste strategie e sui loro benefici (Netti et al., 2024; Vollaers et al., 2021), ma anche per l'assenza di uno strumento di valutazione idoneo, capace di stimare i costi di implementazione e manutenzione delle diverse soluzioni NBS, nonché i benefici generati in una prospettiva monetaria (Maes et al., 2020; Sowińska-Świerkosz & García, 2022).

In questo contesto, la presente ricerca si propone di sviluppare un sistema di classificazione per stimare i costi dell'intero ciclo di vita delle soluzioni NBS. A tal fine, viene proposto un modello basato sulla *Work Breakdown Structure* (WBS). Tradizionalmente utilizzata per l'analisi e la stima analitica dei costi di costruzione in ambito edilizio, la WBS è stata in questo caso adattata per descrivere e stimare i costi dell'intero ciclo di vita delle NBS per la gestione delle acque piovane in ambito urbano. Questo modello consente di rappresentare in modo dettagliato le soluzioni progettuali, analizzarne la struttura e stimare i costi lungo tutto il loro ciclo di vita. L'obiettivo è fornire uno strumento di riferimento utile per la stima economica e adattabile a una pluralità di contesti.

L'articolo è organizzato in 5 sezioni. La sezione 2 introduce e descrive il concetto di NBS, evidenziandone le caratteristiche peculiari, con un approfondimento specifico sulle NBS per la gestione delle acque in ambito urbano. La sezione 3 illustra il metodo alla base della costruzione del modello proposto per la stima dei costi delle NBS. La sezione 4 descrive in modo dettagliato la struttura del modello WBS proposto e le voci di costo che sono state considerate. Tale sezione illustra, inoltre, i risultati ottenuti dall'applicazione delle schede WBS sviluppate per le soluzioni NBS analizzate nella presente ricerca. La sezione 5 è dedicata alle conclusioni, proponendo un'analisi critica delle potenzialità e delle criticità del modello, oltre a suggerire possibili sviluppi futuri della ricerca.

2. Nature-Based Solutions (NBS)

2.1 Definizione

Il termine NBS rappresenta un concetto ombrello, introdotto per favorire lo sviluppo sostenibile affrontando in modo integrato le sfide urbane di natura sociale, economica e ambientale (Castellar et al., 2021). La sua prima menzione risale al 2008, quando fu introdotto dalla *World Bank* (Leary et al., 2008). Il concetto è stato da quel momento oggetto di numerose definizioni, sviluppate sia in ambito accademico che nelle politiche pubbliche. Questa sezione non si propone l'obiettivo di fornire un elenco esaustivo di tali definizioni, ma di offrire una panoramica generale sull'argomento. Nel 2015, la Commissione Europea ha definito le NBS come "*soluzioni ispirate e supportate dalla natura, che sono convenienti, forniscono simultaneamente benefici ambientali, sociali ed economici e aiutano a creare resilienza. Tali soluzioni portano una natura e caratteristiche e processi naturali sempre più diversificati in città, paesaggi e paesaggi marini attraverso interventi adattati localmente, efficienti in termini di risorse e sistemici.*" (Bauduceau et al., 2015). Nel 2020, l'*International Union for Conservation of Nature* (IUCN) ha introdotto il *Global Standard* (IUCN, 2020), stabilendo criteri più chiari per la definizione delle NBS. Secondo la IUCN, le NBS sono "*azioni per proteggere, gestire in modo sostenibile e ripristinare ecosistemi naturali o modificati che affrontano le sfide sociali in modo efficace e adattivo, fornendo simultaneamente benefici per il benessere umano e la biodiver-*

sità". I *Global Standard* stabiliscono inoltre otto criteri che le soluzioni devono soddisfare per essere considerate NBS, ovvero:

- affrontare le sfide sociali. Lo scopo di questo criterio è garantire che le NBS siano progettate come risposta a una o più sfide sociali identificate come prioritarie dagli attori che saranno direttamente interessati, quali, ad esempio, la creazione di nuovi posti di lavoro, l'adattamento e la mitigazione degli effetti del cambiamento climatico, l'aumento della fornitura di Servizi Ecosistemici (SE), *food security* e *water security*. Questo criterio, inoltre, pone l'attenzione sul coinvolgimento nel processo decisionale di tutte le parti interessate;
- interazione tra economia, società ed ecosistema. La progettazione deve considerare la scala appropriata, integrando aspetti ecologici, economici e sociali per rispondere all'interazione tra queste dimensioni. Al fine di garantire soluzioni durature e sostenibili, la progettazione deve richiedere un inquadramento sistemico che riconosca e affronti queste interazioni e le integri nel processo decisionale;
- guadagno di biodiversità. La progettazione e l'implementazione delle NBS devono evitare di compromettere l'integrità del sistema e migliorare la funzionalità e la connettività dell'ecosistema;
- fattibilità economica. Tale criterio richiede che venga data sufficiente considerazione alla fattibilità economica dell'intervento, sia in fase di progettazione, sia attraverso il monitoraggio. La fattibilità economica deve essere adeguatamente affrontata, al fine di mettere a sistema benefici a lungo termine, con costi di investimento a breve termine;
- governance inclusiva, trasparente e responsabile. Tale criterio richiede che le NBS riconoscano, coinvolgano e rispondano alle necessità mosse dai diversi stakeholders. Inoltre, questo criterio dispone che le NBS aderiscano alle disposizioni regolamentari vigenti;
- bilancio equo dei compromessi per il raggiungimento degli obiettivi primari e la continua fornitura di altri benefici. I compromessi nell'ambito della gestione del territorio e delle risorse naturali sono inevitabili. Questo criterio richiede di riconoscere la complessità relativa alla gestione delle risorse e di adottare un approccio equo, trasparente e inclusivo nella loro gestione. L'obiettivo è, quindi, garantire che i compromessi siano gestiti efficacemente sia nel tempo che nello spazio, attraverso processi che coinvolgano tutte le parti interessate, garantendo una valutazione accurata e una piena trasparenza tra i soggetti coinvolti su come affrontare i potenziali impatti;
- gestione adattiva. Tale criterio richiede che i piani di attuazione delle NBS consentano la gestione adattiva delle soluzioni per rispondere all'incertezza e utilizzare in modo strategico la resilienza degli ecosistemi;
- sostenibilità e integrazione in un contesto istituzionale appropriato. Questo criterio richiede che gli interventi NBS siano progettati e gestiti in un'ottica di sostenibilità a lungo termine e che tengano conto, interagiscano e si allineino con i quadri politici settoriali, nazionali e di altro tipo.

Sebbene le definizioni di NBS possano essere differenti e molteplici, è possibile individuare alcuni elementi comuni, quali:

- la presenza della componente naturale. L'elemento biologico è essenziale in questi sistemi, rendendo l'uso della natura una caratteristica imprescindibile;
- la convenienza economica. Queste soluzioni devono essere sostenibili dal punto di vista finanziario, con costi di implementazione e manutenzione ragionevoli lungo l'intero ciclo di vita, garantendo un rapporto positivo tra costi e benefici a lungo termine (Sowińska-Świerkosz & García, 2022);
- la fornitura di benefici multipli. Le NBS devono offrire vantaggi che le infrastrutture grigie non possono garantire, mantenendo al contempo prestazioni comparabili. Devono migliorare sia la qualità degli ecosistemi naturali, sia il benessere delle persone. Poiché l'obiettivo non

è solo creare un ambiente più vivibile per gli esseri umani, ma anche tutelare la natura. È fondamentale, quindi, che queste soluzioni abbiano un impatto positivo sulla biodiversità.

2.2 Le NBS per la gestione delle acque in ambito urbano

L'espansione urbana ha determinato un progressivo aumento della superficie impermeabilizzata, con impatti rilevanti sull'ambiente. Secondo i dati ISPRA - Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale (Sistema Nazionale per la Protezione Dell'Ambiente, 2024), a livello nazionale il consumo di suolo ha raggiunto il 7,16% del territorio, valore che sale al 7,26% escludendo le aree occupate da corpi idrici permanenti, confermando una tendenza in costante crescita. In questo contesto, l'implementazione di soluzioni NBS capaci di intercettare, immagazzinare o rilasciare gradualmente l'acqua piovana in modo efficace nelle aree urbane, riducendone così l'afflusso nei sistemi di raccolta e drenaggio delle acque piovane, è un argomento di grande e crescente interesse a livello nazionale e internazionale (Fletcher et al., 2015; Sirishantha & Rathnayake, 2017). Queste soluzioni, note anche come *Sustainable Urban Drainage Systems* (SUDS), svolgono un ruolo fondamentale nel supportare la rete fognaria durante eventi di pioggia intensa, riducendone il rischio di saturazione. Inoltre, facilitano l'infiltrazione delle acque di prima pioggia, contribuendo alla loro depurazione grazie all'azione combinata delle radici e del suolo, che trattano e degradano gli inquinanti. Questa funzione di disoleazione e filtrazione può essere applicata in contesti urbani caratterizzati da superfici minerali, sia in ambiti residenziali che in grandi aree impermeabilizzate, come spazi abbandonati, parcheggi, piazze e bordi stradali (Ferrans et al., 2022).

Le NBS costituiscono, quindi, un approccio innovativo e sostenibile per la gestione delle acque in ambito urbano, offrendo un'alternativa efficace e complementare ai tradizionali sistemi di drenaggio. Queste soluzioni non solo migliorano la capacità delle città di affrontare eventi meteorologici estremi, ma contribuiscono anche a rafforzare la resilienza urbana, rappresentando una strategia chiave per l'adattamento e la mitigazione degli effetti del cambiamento climatico (Bauduceau et al., 2015). In questo ambito, diverse pubblicazioni enfatizzano l'uso di sistemi di gestione delle acque che imitano i processi naturali di infiltrazione per trattare le acque meteoriche (Aiona et al., 2020; Somaris et al., 2020; Zeleňáková et al., 2017), per garantire la sicurezza idrica (Emmanuelle Cohen-Shacham et al. 2016), e per migliorare la resilienza urbana (Kellagher et al., 2015; World Bank, 2021).

Le principali tipologie di NBS applicabili alla gestione delle acque urbane sono riportate in Tabella 1.

Tabella 1. NBS per la gestione delle acque in ambito urbano (elaborazione da Kellagher et al. 2015; Zeleňáková, Diaconu, and Haarstad 2017; Cohen-Shacham et al. 2016; Bono et al., 2020; Aiona et al., 2020; Somaris, Stagakis, and Chrysoulakis 2020)

Nature-Based Solution	Descrizione
Paludi (<i>Swales</i>)	Soluzioni progettate per gestire il deflusso proveniente da ampie superfici impermeabili, come parcheggi o strade, attraverso processi di assorbimento, accumulo e convogliamento delle acque superficiali. Inoltre, queste soluzioni contribuiscono alla rimozione di inquinanti e sedimenti, migliorando la qualità dell'acqua.
Bacini di infiltrazione (<i>Infiltration basins</i>)	Facilitano l'infiltrazione del deflusso attraverso la superficie superiore della trincea, permettendone la successiva filtrazione negli strati sottostanti.
Giardini della pioggia (<i>Rain garden</i>)	Piccole depressioni nel terreno ricoperte di vegetazione, destinate a raccogliere e trattare l'acqua piovana drenata dalle superfici impermeabili circostanti.
Alberature (<i>Trees</i>)	Soluzioni dall'elevata multifunzionalità, hanno molteplici impatti visivi e fisici sulla qualità della vita nelle aree urbane, intercettano l'acqua piovana e gli inquinanti associati, oltre a limitare il fenomeno dell'isola di calore.
Stagni e zone umide (<i>Ponds and wetlands</i>)	Si tratta di bacini con uno strato d'acqua permanente destinati a raccogliere e gestire l'acqua piovana. Questi sistemi possono assolvere a diverse funzioni, tra cui la laminazione del deflusso, il trattamento delle acque meteoriche, il potenziamento della biodiversità e l'incremento delle possibilità di utilizzo dell'area.

Segue **Tabella 1**. NBS per la gestione delle acque in ambito urbano (elaborazione da Kellagher et al. 2015; Zelenáková, Diaconu, and Haarstad 2017; Cohen-Shacham et al. 2016; Bono et al., 2020; Aiona et al., 2020; Somaris, Stagakis, and Chrysoulakis 2020)

Nature-Based Solution	Descrizione
Sistemi di pavimentazione permeabili (<i>Permeable paving</i>)	Permettono il deflusso superficiale delle acque meteoriche, favorendone l'infiltrazione nel terreno tramite elementi modulari dotati di vuoti o giunti, riempiti con materiali permeabili che facilitano l'assorbimento del ruscellamento.
Riapertura dei corsi d'acqua urbani interrati (<i>Reopening of buried urban waterways</i>)	Rimozione della copertura esistente, nel ripristino di un substrato naturale e nella riquadratura della vegetazione attraverso l'inserimento di piante acquatiche e una fascia riparia composta da specie arbustive e arboree
Ripristino di zone umide e pianure alluvionali in ambiti peri-urbani (<i>Restoration of wetlands and floodplains in peri-urban settings</i>)	Il mantenimento e/o il ripristino di pianure alluvionali consente di ridurre i rischi di inondazione, preservando il flusso naturale dei fiumi e fornendo al tempo stesso habitat per la biodiversità.

Nell'ambito delle NBS per la gestione delle acque meteoriche nei contesti urbani, questa ricerca si concentra sull'analisi di quelle soluzioni che possono essere facilmente implementate lungo i bordi stradali, parallelamente o in sostituzione dei parcheggi esistenti. Tale scelta è stata determinata dalla necessità di ottimizzare l'uso dello spazio urbano, migliorando al contempo la gestione delle acque meteoriche. In particolare, sono state analizzate e valutate attraverso l'approccio proposto, con relativa stima analitica dei costi, le seguenti soluzioni: (1) pavimentazione drenante, (2) *rain garden*, (3) *rain garden* con alberature, e (4) alberature.

2.3 Stima dei costi delle NBS: stato dell'arte

Come evidenziato nella Sezione 1, l'implementazione delle NBS in ambito urbano è spesso limitata dalla difficoltà di stimarne i costi del loro ciclo di vita. Questa sezione fornisce una panoramica dello stato dell'arte relativo alla tematica della valutazione dei costi di implementazione e manutenzione delle soluzioni NBS. Dall'analisi della letteratura condotta nello studio Torrieri et al. (2025) emerge che la maggior parte delle ricerche si basa su una stima parametrica dei costi medi di implementazione. Solo due degli studi esaminati hanno adottato un approccio più dettagliato, utilizzando listini prezzi specifici per il contesto di riferimento e fornendo informazioni sulle fasi di realizzazione (Gaona Currea et al., 2024; Sikorska et al., 2020). Inoltre, i costi di manutenzione risultano essere meno approfonditi rispetto a quelli di implementazione, nonostante la loro rilevanza nell'ambito dell'intero ciclo di vita delle NBS. In aggiunta, la descrizione dell'intervento e delle opere necessarie alla realizzazione dello stesso non è sufficientemente dettagliata in molti dei casi analizzati, rendendo difficile l'adattamento della stima parametrica al contesto specifico (Le Coent et al., 2021). Questo quadro evidenzia la necessità di una metodologia strutturata e standardizzata per la stima dei costi di implementazione e manutenzione delle NBS, che tenga conto di tutte le componenti e delle specificità dei contesti di applicazione. Tale esigenza è strettamente legata a uno dei criteri definiti dall'IUCN, secondo cui le NBS devono garantire la convenienza economica, presentando costi di implementazione e gestione sostenibili lungo l'intero ciclo di vita.

3. Metodologia

Come evidenziato nell'introduzione (Sezione 1), la presente ricerca analizza la tematica dell'implementazione delle NBS in ambito urbano, attualmente suggerita da diverse politiche nazionali e internazionali per i molteplici benefici che tali soluzioni apportano in termini di mitigazione degli effetti del cambiamento climatico.

La Figura 1 rappresenta il diagramma di flusso che illustra il processo metodologico alla base della presente ricerca, articolato in quattro fasi principali: (1) analisi della tematica, (2) identificazione della domanda e dell'obiettivo della ricerca, (3) metodologia e (4) risultati. La prima fase riguarda l'analisi della tematica relativa all'implementazione delle NBS in ambito urbano, da cui si evidenziano molteplici punti di forza e opportunità, ma anche diverse criticità e necessità operative. Sulla base di quest'ultime, è stata definita la principale domanda di ricerca Q_1 "Come stimare i costi di implementazione, manutenzione e fine ciclo vita delle NBS, considerando le diverse voci di lavoro e le peculiarità localizzative?". A partire da questa domanda, la ricerca si pone l'obiettivo di proporre un modello strutturato, operativo e replicabile per la stima dei costi del ciclo di vita delle NBS. La metodologia alla base della ricerca per raggiungere l'obiettivo prefissato e rispondere alla domanda di ricerca Q_1 comprende (1) il concetto di costo globale per l'identificazione di tutte le voci di costo del ciclo di vita (Forte, 1973), (2) la disamina dei metodi di stima del costo (sintetici e analitici) (Utica, 2011a, 2011b), (3) lo studio del modello della *Work Breakdown Structure* (WBS) utilizzato per la scomposizione del progetto in elementi di lavoro, e (4) l'analisi dei sistemi di classificazione, quali l'UNI 8290 e l'UNIFORMAT II.

Il risultato finale è rappresentato da un modello WBS, specificamente strutturato per la stima dei costi dell'intero ciclo di vita delle NBS. Tale modello è stato inoltre applicato per la stima dei costi delle NBS per la gestione delle acque meteoriche nei contesti urbani, quali (1) pavimentazione drenante, (2) giardino della pioggia (*rain garden*), (3) giardini della pioggia con alberature e (4) alberature urbane. La presente sezione riprende i fondamenti metodologici alla base dell'approccio proposto, riprendendo brevemente il concetto di valore di costo globale (sezione 3.1), introducendo l'approccio WBS (sezione 3.2) e illustrando i sistemi di classificazione che possono essere utilizzati per lo sviluppo della WBS (sezione 3.3).

3.1 Valore di costo globale

Analizzando il valore di costo rispetto all'intero ciclo di vita di un progetto (ideazione, realizzazione, consegna, gestione e dismissione) si devono considerare tutti quei valori relativi alle diverse situazioni temporali e riferiti ai diversi operatori. Questi elementi contribuiscono alla determinazione del valore di costo globale, fornendo una visione complessiva e strutturata delle risorse economiche necessarie per l'intero arco di vita del progetto. Il valore di costo globale è definito dalla somma di tutte le spese prevedibili che risultano necessarie per garantire la corretta utilizzazione del progetto nel corso della sua vita utile (costi prevedibili di gestione e manutenzione) nonché dalla stima delle spese che dovranno essere sostenute per la dismissione dell'opera residua (costi prevedibili di dismissione). La Figura 2 schematizza le diverse fasi del ciclo di vita di un progetto e ne elenca le diverse voci di costo.

Il valore di costo globale può essere così descritto dall'Eq. 1:

$$V_{GLOB}^C = V_{TOT}^C + V_{ES}^C + V_{RES} \quad (1)$$

Dove:

V_{TOT}^C è il valore di costo totale;

V_{ES}^C è il valore di costo di esercizio, dato dalla somma dei costi di manutenzione V_{MAN}^C e di gestione V_{GEST}^C , come definito dalla formula $V_{ES}^C = V_{MAN}^C + V_{GEST}^C$;

V_{RES} è il valore residuo, che può essere dato o dal valore del costo di dismissione o valore residuo positivo riconosciuto a quello che resta.

Pertanto, si può affermare che il valore di costo globale di un progetto è costituito dall'insieme delle spese che il soggetto attivo (investitore, committente, impresa) deve sostenere per garantire il risultato della produzione, il mantenimento della funzione programmatica e la dismissione quando verranno meno i presupposti che consentono un suo vantaggioso utilizzo (Utica, 2011a).

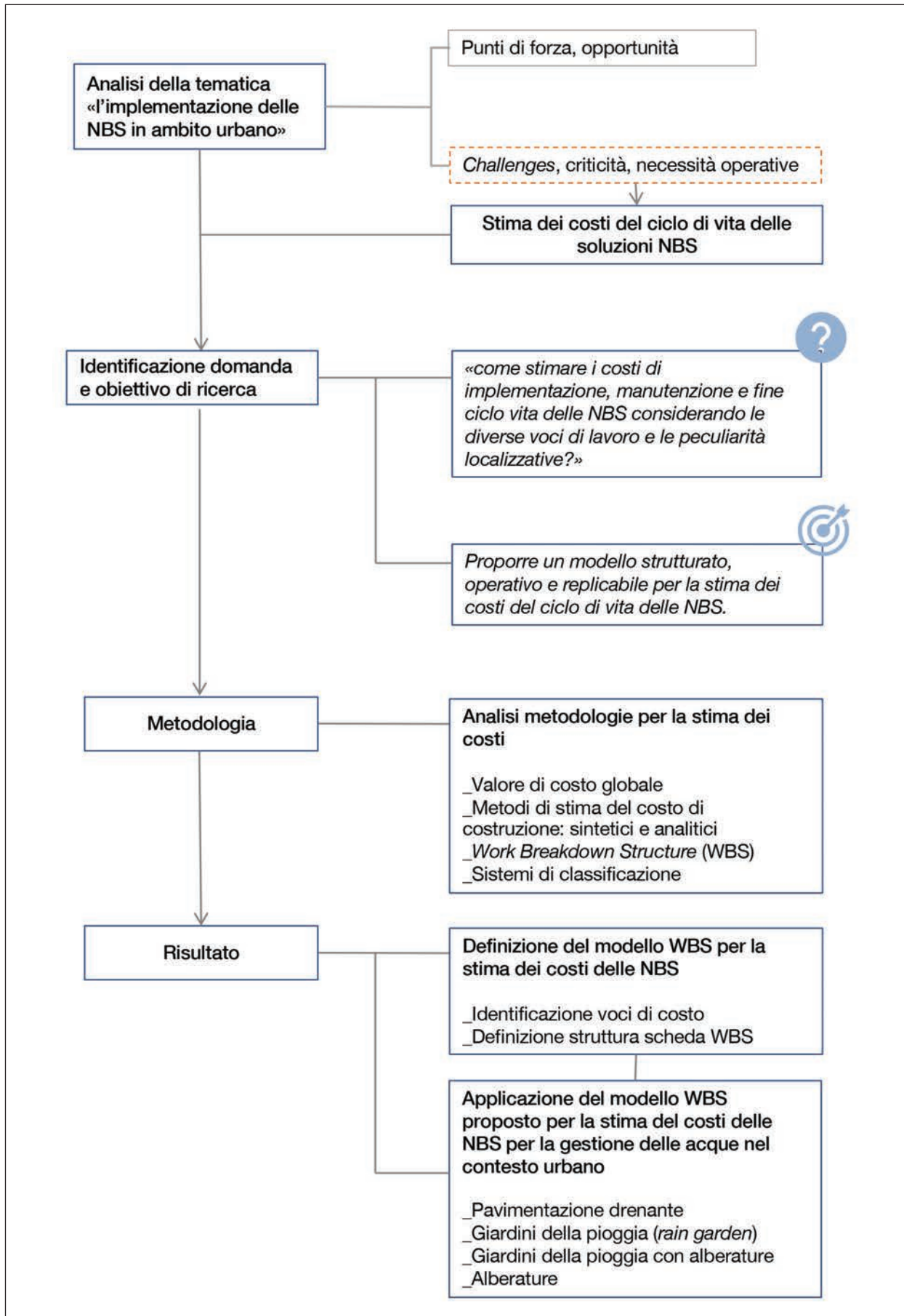


Figura 1. Diagramma di flusso e fasi della ricerca (elaborazione degli autori).

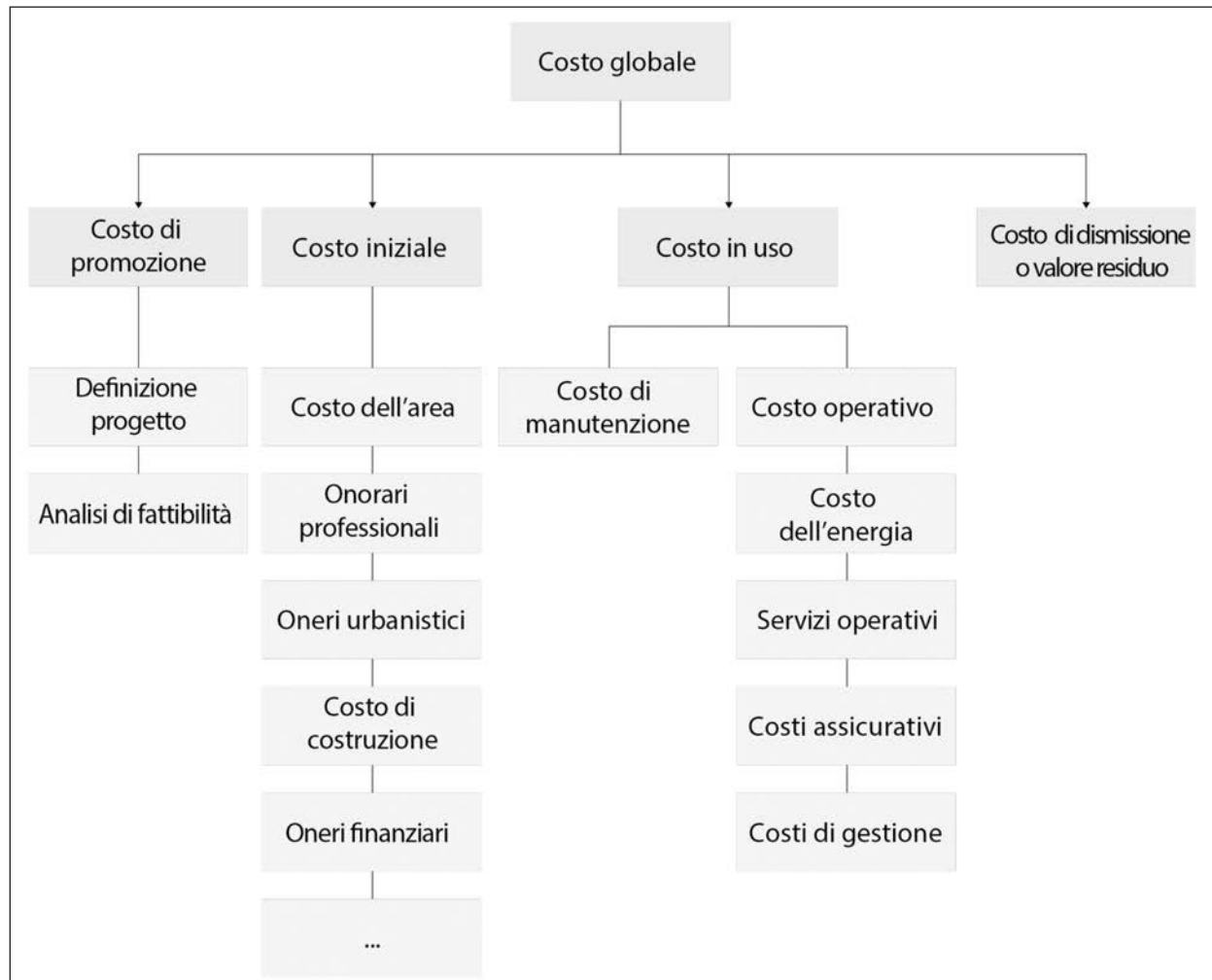


Figura 2. Costo globale e identificazione dei costi del ciclo di vita di progetto (elaborazione da Utica, 2011b).

3.2 Work Breakdown Structure (WBS)

La *Work Breakdown Structure* (WBS) è definita dal *Project Management Institute* (PMI) come “una struttura ad albero, composta da attività, che organizza, definisce e rappresenta graficamente l'intero lavoro necessario per raggiungere gli obiettivi del progetto.” (Institute Project Management, 2017). Questo strumento metodologico consente di scomporre un progetto complesso in unità di lavoro più semplici e gestibili, fornendo una base comune per la comunicazione, l'allocazione delle responsabilità e il monitoraggio di ambiti, costi e tempistiche, oltre a identificare le risorse operative per la realizzazione fisica del progetto. L'obiettivo della WBS è identificare tutte le componenti del progetto secondo uno schema gerarchico chiaro, consentendo una gestione efficace della sua complessità. La Figura 3 illustra la struttura tipica della WBS, che scompone il progetto nei suoi elementi costitutivi in modo organizzato e gerarchico. La WBS, basata su questa schematizzazione del progetto, permette di:

- rendere visibili tutte le entità del progetto, organizzate per livelli di dettaglio in modo razionale;
- definire relazioni e associazioni tra le diverse entità, attribuendo loro specifici parametri (semplici o complessi) in un sistema gerarchico strutturato;
- supportare lo sviluppo documentale del progetto attraverso un flusso informativo coordinato e privo di errori.

La WBS permette di scomporre il progetto in elementi sempre più semplici, fino al livello di dettaglio desiderato, considerando le diverse scelte progettuali.

La fattibilità degli interventi *Nature-Based Solutions* (NBS):
la stima dei costi attraverso il modello *Work Breakdown Structure* (WBS)

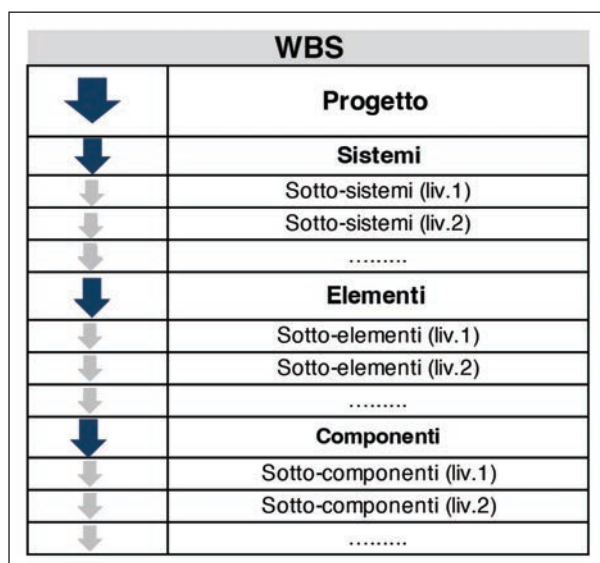


Figura 3. Struttura generale WBS (elaborazione da Utica, 2011a).

3.3 Sistemi di classificazione

La formulazione della WBS dovrebbe basarsi su piani di classificazione consolidati, come la UNI 8290 o il UNIFORMAT II al fine di seguire un percorso logico che organizzi i dati in modo coerente e gerarchico. Infatti, un piano di classificazione ben strutturato e la definizione di un efficace codice di comunicazione risultano indispensabili per la gestione e la stima del costo di costruzione dell'opera (Utica, 2011a). A tal fine, si rende necessario l'utilizzo di strumenti operativi capaci di identificare e organizzare i diversi livelli delle componenti del progetto.

A livello operativo, la classificazione può avvalersi di sistemi normati, tra cui (1) la norma UNI 8290 e (2) l'UNIFORMAT II. Tali sistemi forniscono riferimenti strutturati e consolidati per l'organizzazione delle informazioni progettuali. La Tabella 2 schematizza i tre livelli di classificazione proposti dalla norma UNI 8290 e dalla UNIFORMAT II.

Tabella 2. Sistemi di classificazione UNI 8290 e UNIFORMAT II con i relativi livelli di classificazione e terminologia (elaborazione degli autori)

	Livello 1	Livello 2	Livello 3
UNI 8290	Classi unità tecnologiche	Unità tecnologiche	Classi di elementi tecnici
UNIFORMAT II	<i>Major group elements</i>	<i>Group elements</i>	<i>Individual elements</i>

La norma UNI 8290, sviluppata dall'Ente Nazionale Italiano di Unificazione (UNI), fornisce un quadro normativo per la classificazione e la gestione dei costi legati alla costruzione e manutenzione degli edifici. Essa si applica a tutti i settori dell'edilizia, includendo sia le nuove costruzioni sia gli interventi di ristrutturazione e manutenzione. Il sistema edilizio, secondo la norma UNI 8290, è articolato in base a criteri funzionali che ne consentono la scomposizione in tre livelli gerarchici: (1) classi di unità tecnologiche, (2) unità tecnologiche e (3) classi di elementi tecnici (Tab. 2). Tale classificazione si basa sul riconoscimento delle diverse parti che compongono un edificio, organizzandole secondo il principio di appartenenza a specifiche apparecchiature costruttive.

Uno degli aspetti più rilevanti della norma è il suo contributo alla gestione della manutenzione degli edifici. Distinguendo tra manutenzione ordinaria e straordinaria, la UNI 8290 consente una pianificazione più efficiente degli interventi, ottimizzando l'uso delle risorse e garantendo un controllo più preciso dei costi nel corso del ciclo di vita dell'edificio.

Tuttavia, mentre la norma UNI 8290 rappresenta un valido strumento per la classificazione e la

gestione dei costi di manutenzione, risulta meno adatta per la stima dei costi di costruzione, poiché considera l'edificio come un'entità già completata e non include i processi transitori legati alla fase realizzativa, come l'allestimento del cantiere, i movimenti di terra e le demolizioni. In sintesi, la norma UNI 8290 costituisce un riferimento essenziale per la pianificazione, la gestione dei costi e la manutenzione degli edifici, offrendo maggiore efficienza, trasparenza e controllo lungo l'intero ciclo di vita di un progetto edilizio. Tuttavia, il suo impiego risulta limitato nella stima dei costi di costruzione, poiché non considera i processi preliminari e transitori, come l'allestimento del cantiere, i movimenti di terra e le demolizioni, elementi fondamentali per una valutazione economica completa.

La norma UNIFORMAT II, invece, è un sistema di classificazione internazionale per la gestione delle spese e delle attività nel settore edilizio, coprendo progettazione, costruzione e manutenzione (Charette & Marshall, 1999). Questa classificazione permette di organizzare un progetto in categorie e sotto-categorie di elementi strutturali, impiantistici e funzionali, facilitando la pianificazione e la stima dei costi lungo tutto il ciclo di vita dell'edificio.

Si basa su una struttura gerarchica a tre livelli, con un ulteriore livello di sotto-componenti, migliorando la gestione dei progetti complessi. Identifica due categorie principali:

- Sistema tecnologico (*Building Elements, item A-FF*), comprendente strutture portanti, impianti e finiture;
- Sistema ambientale (*Building Related Siteworks, item G*), relativo alle opere connesse al contesto dell'edificio.

Inoltre, l'UNIFORMAT II considera elementi transitori del progetto, come le condizioni ambientali, la logistica del cantiere e i lavori preparatori (scavi, demolizioni, rimozioni). Questo sistema favorisce stime economiche più accurate e riduce le incertezze nelle fasi iniziali del progetto, migliorando la comunicazione tra progettisti, costruttori e gestori attraverso una terminologia standardizzata. In sintesi, l'UNIFORMAT II si configura come uno strumento essenziale per l'organizzazione, la gestione dei costi e la manutenzione degli edifici, garantendo maggiore precisione nelle stime e nell'allocazione delle risorse.

4. Risultati

4.1 Definizione del modello WBS per la stima dei costi delle NBS

Come evidenziato dalla sezione precedente (Sezione 3.2), l'adozione del modello WBS consente di descrivere gli interventi nella loro complessità, identificando tutte le voci di lavoro e gli elementi che li caratterizzano. Questa sezione descrive il modello WBS definito per la stima dei costi delle NBS all'interno dei contesti urbani, identificandone le voci di costo considerate e illustrandone la struttura di base.

4.1.1 Voci di costo

Prima di procedere alla descrizione della struttura della WBS proposta per la stima dei costi degli interventi NBS, è necessario sottolineare quali sono le voci di costo che sono state prese in considerazione. Essendo le NBS interventi basati sull'implementazione di elementi naturali in ambienti costruiti e richiedenti programmati interventi di manutenzione e gestione, si è deciso di prendere in considerazione l'intero ciclo di vita della soluzione NBS. A tal proposito, però, si deve sottolineare che sono state effettuate alcune semplificazioni alla stima del valore di costo, in quanto alcune voci di costo non sono state considerate. Le NBS sono state considerate in questa applicazione come un intervento pubblico su spazio aperto, per cui sono state considerate le voci di:

- costo di costruzione;
- costo di manutenzione (ordinaria e straordinaria);
- costo di fine vita riferito al costo relativo alle operazioni di rimozione delle NBS.

Invece, sono state escluse le voci di costo riferite a (1) oneri professionali, (2) costo del terreno, (3) le tasse, (4) gli accantonamenti per spese impreviste, (5) il costo del debito, e (4) i costi operativi, considerati in questo caso nulli o trascurabili.

4.1.2 Struttura della WBS

L'obiettivo di questa ricerca è descrivere gli interventi NBS in tutte le loro componenti, classificandoli in modo gerarchico (*top-down*) per gestirne la complessità e stimarne i costi dell'intero ciclo di vita. A tal fine, il metodo WBS si rivela la struttura più idonea per rappresentare e organizzare queste informazioni.

Tuttavia, la norma UNI 8290 presenta limitazioni, in quanto non considera alcuni centri di costo, come le opere ambientali. Per questo motivo, si è reso necessario utilizzare come riferimento il sistema di classificazione internazionale UNIFORMAT II, che include il sistema ambientale (*Building Related Site Work, voce G*) e le opere propedeutiche al cantiere e agli spazi aperti. Questi elementi risultano fondamentali per una corretta descrizione delle NBS e delle loro componenti.

La Tabella 3 rappresenta la struttura generale della WBS proposta per la descrizione e stima dei costi delle NBS. Tale struttura si basa sulla classificazione definita da UNIFORMAT II. I primi tre livelli sono propriamente definiti dalla norma (Sezione 3.3). Il quarto livello, invece, è stato implementato come suggerito in letteratura in quanto ogni sotto-elemento corrisponde a una o più voci di lavoro che si possono trovare nei listini prezzi (Charette & Marshall, 1999; Utica, 2011b). La Tabella 4 riporta come esempio illustrativo la classificazione in quattro livelli dell'unità tecnologica "G10 preparazione del sito".

Tabella 3. Struttura generale della WBS proposta, basata sul sistema di classificazione UNIFORMAT II (elaborazione degli autori da Charette & Marshall, 1999)

Livello 1	Livello 2	Livello 3	Livello 4
Classi unità tecnologiche	Unità tecnologiche	Classi di elementi tecnici	Elementi tecnici

Tabella 4. Classificazione in quattro livelli dell'unità tecnologica G10 preparazione del sito (elaborazione da Charette & Marshall, 1999)

Livello 1 Classi di unità tecnologiche	Livello 2 Unità tecnologiche	Livello 3 Classi di elementi tecnologici	Livello 4 Sotto-elementi tecnologici
G - Opere di urbanizzazione	G10 - Preparazione del sito	G1010 - Pulizia del sito	G1011 - Disboscamento e rimozione vegetazione
			G1012 - Rimozione e diradamento alberi
		G1020 - Demolizione e rilocalizzazione del sito	G1021 - Demolizione edifici
			G1022 - Demolizione componenti del sito
			G1023 - Spostamento edifici e utenze
			G1024 - Spostamento utenze

Nello specifico, per la stima del costo di costruzione, è stata applicata rigorosamente la classificazione in quattro livelli. Per la stima del costo di manutenzione e di fine vita, invece, la struttura è stata adattata alle esigenze estimative (Tabella A1, Tabella A2, Tabella A3, Tabella A4 in Appendice).

I costi di manutenzione sono stati classificati in base alla frequenza degli interventi, distinguendo tra manutenzione ordinaria e straordinaria. Le principali voci di costo della manutenzione riguardano il taglio dell'erba, il reintegro del prato, l'innaffiatura iniziale degli alberi e la loro potatura ogni tre anni. Per la manutenzione straordinaria, prevista ogni 20 anni, è invece prevista la rimozione dello strato superficiale della NBS per garantire il mantenimento della capacità di filtraggio e drenaggio del sistema. Per quanto riguarda la fase di fine vita, data la limitata quantità di interventi necessari, è stato semplicemente redatto un elenco delle relative voci di lavoro.

4.2 Applicazione del modello WBS per la stima dei costi delle NBS per la gestione delle acque nel contesto urbano

Seguendo la struttura della WBS proposta (Tab. 3, Tab. 4), per la stima dei costi delle NBS è stato applicato il metodo analitico-deduttivo (indiretto)¹. Di seguito sono riportati i risultati ottenuti dall'applicazione della WBS proposta per la stima dei costi per le NBS selezionate, ovvero (1) pavimentazione drenante, (2) giardino della pioggia (*rain garden*), (3) *rain garden* con alberature, (4) alberature urbane. Nello specifico, per la stima dei costi di implementazione, manutenzione e fine vita, è stato utilizzato il Prezziario della Regione Lombardia 2024. Inoltre, i valori di costo stimati attraverso la WBS proposta sono stati confrontati con i valori medi parametrici reperibili in letteratura.

4.2.1 Pavimentazione drenante

La prima NBS analizzata è la pavimentazione drenante. Questo tipo di sistema può essere utilizzato in diversi contesti. Infatti, è possibile adottare queste soluzioni per realizzare superfici sia per uso pedonale sia veicolare. L'implementazione di queste soluzioni può supportare la rete fognaria nel drenaggio delle acque urbane, favorendo l'infiltrazione delle acque di prima pioggia, depurandole attraverso le radici e il terreno che trattano e degradano gli inquinanti. La stratigrafia (Fig. 4) assicura l'infiltrazione superficiale dell'acqua piovana nel terreno utilizzando elementi modulari, come blocchi di cemento o tappeti di plastica rinforzata, caratterizzati dalla presenza di vuoti o giunti riempiti con materiale inerte permeabile, come sabbia, ghiaia, o terreno vegetato, per garantire l'infiltrazione dell'acqua di deflusso e la depurazione (Bono et al., 2020).

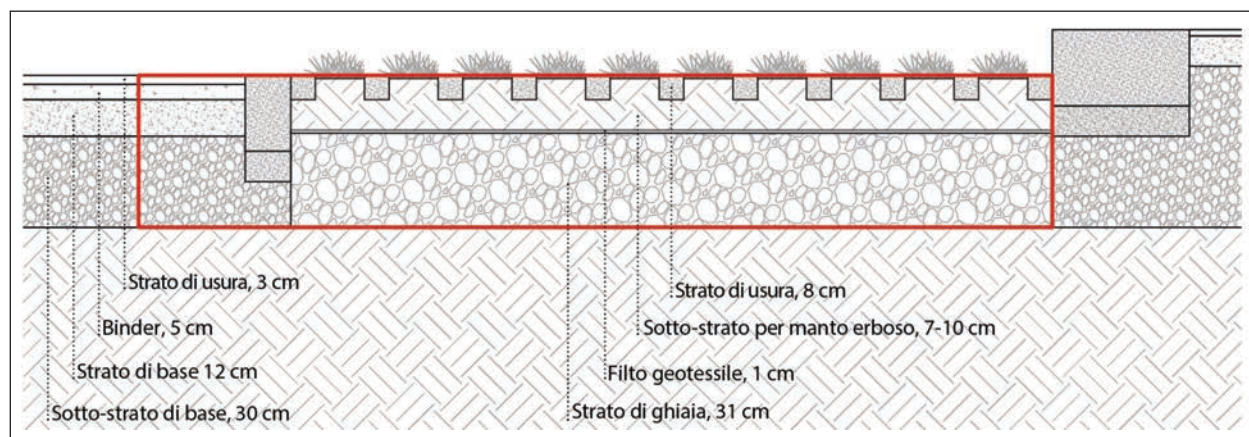


Figura 4. Stratigrafia della pavimentazione drenante (elaborazione da Bono et al., 2020).

¹ Il procedimento analitico-deduttivo presuppone un approccio sistemico all'opera di cui si sta stimando il costo di costruzione (Utica, 2011a). Infatti, l'opera viene analizzata come somma di parti e la formulazione del giudizio di stima del costo di costruzione si basa sull'analisi dettagliata del processo produttivo, identificandone le componenti convenzionali (voci di prezzo o voci di lavoro o lavorazioni). Tale procedimento si basa sul principio metodologico della scomposizione del progetto in diverse unità, rendendo possibile la compilazione di un piano di classificazione dettagliato in grado di rappresentare il cantiere virtuale e i caratteri delle lavorazioni necessarie al raggiungimento del risultato progettuale, prevedendo lo sviluppo di un documento che registra le quantità di progetto associate alle voci convenzionali di lavoro.

Il valore di costo di costruzione stimato attraverso l'applicazione della WBS proposta risulta pari a 141,63 €/m² (Tab. 5) Il costo della manutenzione ordinaria annuale è stimata pari a 0,98 €/m². Il costo stimato per la manutenzione straordinaria, programmata ogni vent'anni, è pari a 55,70 €/m². Invece, per quanto concerne il costo di fine ciclo vita (40 – 60 anni) della soluzione analizzata che corrisponde al costo di rimozione della soluzione stessa, esso è stato stimato pari a 24,86 €/m². I valori di costo stimati attraverso la WBS proposta sono stati confrontati con i valori di costo reperibili in letteratura, come illustrato in Tabella 5. Da tale confronto è possibile evidenziare che il costo di costruzione stimato attraverso la WBS è più alto rispetto ai valori reperiti in letteratura (Bonsignori & Senes, 2022; Liu et al., 2016). Tale differenza può essere dovuta al fatto che i valori di costo reperiti in letteratura sono stati stimati mediante il metodo sintetico, stimando il valore di costo attraverso il confronto di progetti simili e facendo una media di tali valori, con la possibilità di sottostimare il costo di alcune delle voci di costo identificate nella WBS (Tabella A1 in Appendice). Anche il costo di manutenzione straordinaria stimato con la WBS risulta essere più alto rispetto a quello medio reperito in letteratura e pari a 3,72 €/m². Invece, per quanto riguarda il costo di manutenzione ordinaria, questo si attesta in linea con la letteratura.

Tabella 5. Confronto costi stimati con WBS e costi reperiti in letteratura (elaborazione degli autori)

Fonte	NBS	Costo di costruzione		Costo di manutenzione		Costo di fine ciclo vita	U.M.
		Min.	Max.	Ordinaria	Straordinaria		
(Bonsignori & Senes, 2022)	Pavimentazione drenante	27,70	55,40	-	-	-	€ ₂₀₂₄ /m ²
(Nature for cities, 2018)	Pavimentazione drenante	21,15		1,18	3,72	-	€ ₂₀₂₄ /m ²
Costi stimati con metodo WBS	<i>Rain garden</i>	141,63		0,98	55,70	24,86	€ ₂₀₂₄ /m ²

4.2.2 Giardino della pioggia (*Rain garden*)

I giardini della pioggia o *rain garden* sono delle depressioni del terreno, progettate per raccogliere e drenare l'acqua piovana, che vi confluisce all'interno e viene depurata dall'azione della vegetazione, del suolo e dei microrganismi (Bonsignori & Senes, 2022). Tali sistemi intercettano la pioggia dalle superfici impermeabili circostanti e sono in grado di gestire una superficie da 5 a 15 volte la sua area, riducendo il volume e la velocità di deflusso (Bono et al., 2020). La Figura 5 rappresenta la stratigrafia della soluzione del *rain garden* (giardino della pioggia).

Il valore di costo di costruzione stimato è pari a 166,13 €/m² (il costo del sistema di drenaggio è stato stimato a parte in quanto non rappresenta una lavorazione obbligatoria, il cui costo è pari a 15,86 €/m²) (Tabella A2 in Appendice). Il valore di costo della manutenzione ordinaria annuale è stato stimato pari a 0,56 €/m² e il costo di fine ciclo vita che corrisponde al costo relativo alla rimozione dell'intero sistema (dopo 40-60 anni) è stato stimato pari a 27,47 €/m². Anche in questo caso, i valori di costo stimati mediante l'utilizzo della WBS sono stati confrontati con i dati presenti in letteratura (Tab. 6). Gli studi reperiti in letteratura riportano un costo di costruzione compreso tra i 99,72 €/m² e 166 €/m² e un costo di manutenzione ordinaria compreso tra gli 8 €/m² e 17 €/m² (Bonsignori et al., 2022).

Da tale confronto è possibile notare che il valore di costo di costruzione stimato rientra negli intervalli minimo e massimo indicati in letteratura. La differenza legata al costo di manutenzione è attribuibile alla scelta delle specie arboree utilizzate per la stima, considerando l'ampio *range* dei costi di manutenzione delle diverse tipologie.

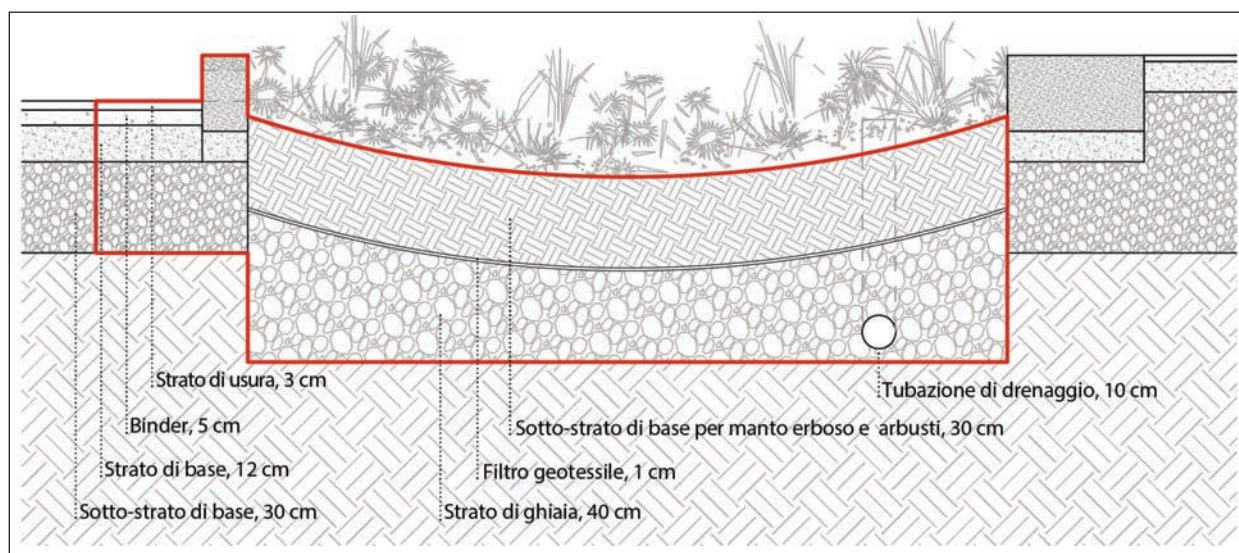


Figura 5. Stratigrafia del *rain garden* (elaborazione da Bono et al., 2020).

Tabella 6. Confronto costi stimati e costi reperiti in letteratura (elaborazione degli autori)

Fonte	NBS	Costo di costruzione		Costo di manutenzione		Costo di fine ciclo vita	U.M.
		Min.	Max.	Ordinaria	Straordinaria		
(Bonsignori & Senes, 2022)	<i>Rain garden</i>	99,72	166,20	7,98	16,62	-	€ ₂₀₂₄ /m ²
Costi stimati con metodo WBS	<i>Rain garden</i>	166,13		0,56	2,92	27,47	€ ₂₀₂₄ /m ²

4.2.3 *Rain garden con alberature*

La stratigrafia del *rain garden* con alberature è leggermente diversa rispetto a quella illustrata nel paragrafo precedente (Fig. 6). La sezione del *rain garden* con alberature presenta una profondità maggiore per garantire la crescita degli alberi. Inoltre, questa tipologia non include lo strato di drenaggio, in quanto questo strato limiterebbe lo sviluppo profondo delle radici, che verrebbero danneggiate dall'acqua stagnante a diretto contatto con esse.

Il valore costo di costruzione stimato per la soluzione *rain garden* è pari a 192,75 €/m² e il costo di implementazione delle alberature varia dai tra 87,34 €/cad. e i 436,52 €/cad., tale range di costi dipende delle dimensioni dell'alberatura (Tabella A3, Appendice A). Il valore di costo della manutenzione ordinaria del prato è stimato pari 0,56 €/m², per le alberature è stato stimato un costo di irrigazione, richiesta per i primi 3 anni, pari a 14,40 €/m² e un costo di potatura compreso tra i 28,79 €/cad. e i 138,07 €/cad., programmata ogni tre anni. Il costo di fine ciclo vita che corrisponde al costo di rimozione dell'intero sistema dopo 40-60 anni è stimato pari di 37,76 €/m², mentre la rimozione delle alberature ha un costo di 338,84 €/cad. In letteratura (Tab. 7), la piantumazione di un albero varia tra i 50 €/cad. e i 1500 €/cad., determinata dalla grande varietà specie arboree. Il costo di manutenzione, invece, è compreso in letteratura tra i 10 €/cad. e i 60 €/cad. (Morello et al., 2019; Nature for cities, 2018).

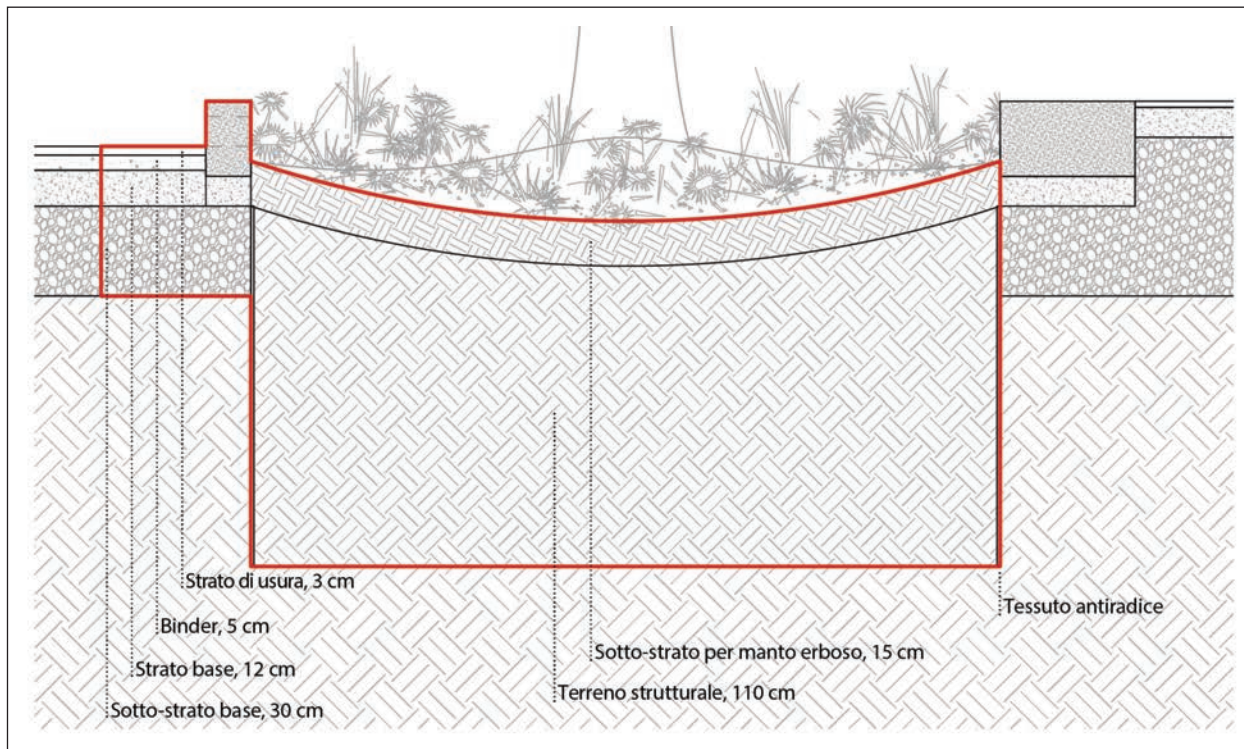


Figura 6. Stratigrafia *rain garden* con alberature (elaborazione da Bono et al., 2020)

Tabella 7. Confronto costi stimati e costi reperiti in letteratura (elaborazione degli autori)

Fonte	NBS	Costo di costruzione		Costo di manutenzione		Costo di fine ciclo vita	U.M.
		Min.	Max.	Ordinaria	Straordinaria		
(Morello et al., 2019)	Alberature	50,59	86,01	10,12	22,26	-	€ ₂₀₂₄ /cad.
(Nature for cities, 2018)	Alberature	200,00	1.500,00	25,00	60,00	-	€ ₂₀₂₄ /cad.
Costi stimati con metodo WBS	Alberature	87,34	436,52	Irrigazione (primi 3 anni)		338,84	€ ₂₀₂₄ /cad.
				14,40			
				Manutenzione (0-5 anni)			€ ₂₀₂₄ /cad.
				28,79			
				Manutenzione (6-15 anni)			€ ₂₀₂₄ /cad.
66,17							
Manutenzione (16-40 anni)		€ ₂₀₂₄ /cad.					
138,07							
Rain garden		192,75	0,56	1,76	37,76	€ ₂₀₂₄ /cad.	

4.2.4 Alberature

Le alberature rappresentano le soluzioni NBS con il più alto grado di multifunzionalità, un aspetto che, da un lato ne esalta i benefici, dall'altro le rende soluzioni complesse da gestire. I vantaggi derivanti dalla presenza di alberature vanno oltre la regolazione delle acque meteoriche. Infatti, gli

alberi intercettano e trattengono l'acqua attraverso rami e foglie, la assorbono mediante il loro apparato radicale e successivamente la rilasciano nell'atmosfera. Inoltre, favoriscono l'infiltrazione nel terreno, offrono ombra, abbassano la temperatura dell'ambiente circostante grazie all'evapotraspirazione, trattengono sostanze inquinanti presenti nell'aria, producono ossigeno, arricchiscono il paesaggio e promuovono la biodiversità. Tuttavia, rispetto ad altre soluzioni NBS, l'adozione di alberature comporta anche alcune criticità, come il rischio legato alla crescita dimensionale degli alberi e gli elevati costi di manutenzione. Per garantire un equilibrio ottimale, si raccomanda di non superare un rapporto di 5 a 1 tra superficie impermeabile e area destinata alla vegetazione (Bonsignori & Senes, 2022). Gli alberi, solitamente piantati in filari, possono essere messi a dimora con diverse tecniche (Nature for cities, 2018), tra cui:

- l'impianto in un suolo costituito da un mix di aggregati e terreno per aumentarne la stabilità;
- l'impiego di sotto-strutture tridimensionali, generalmente in plastica o calcestruzzo armato, per sostenere la pavimentazione sovrastante, che possono essere riempite completamente con substrato;
- l'utilizzo di box in calcestruzzo, aperti o chiusi sul fondo, in grado di supportare il carico della pavimentazione e contenenti un substrato adatto alla crescita degli alberi (Bonsignori et al., 2022).

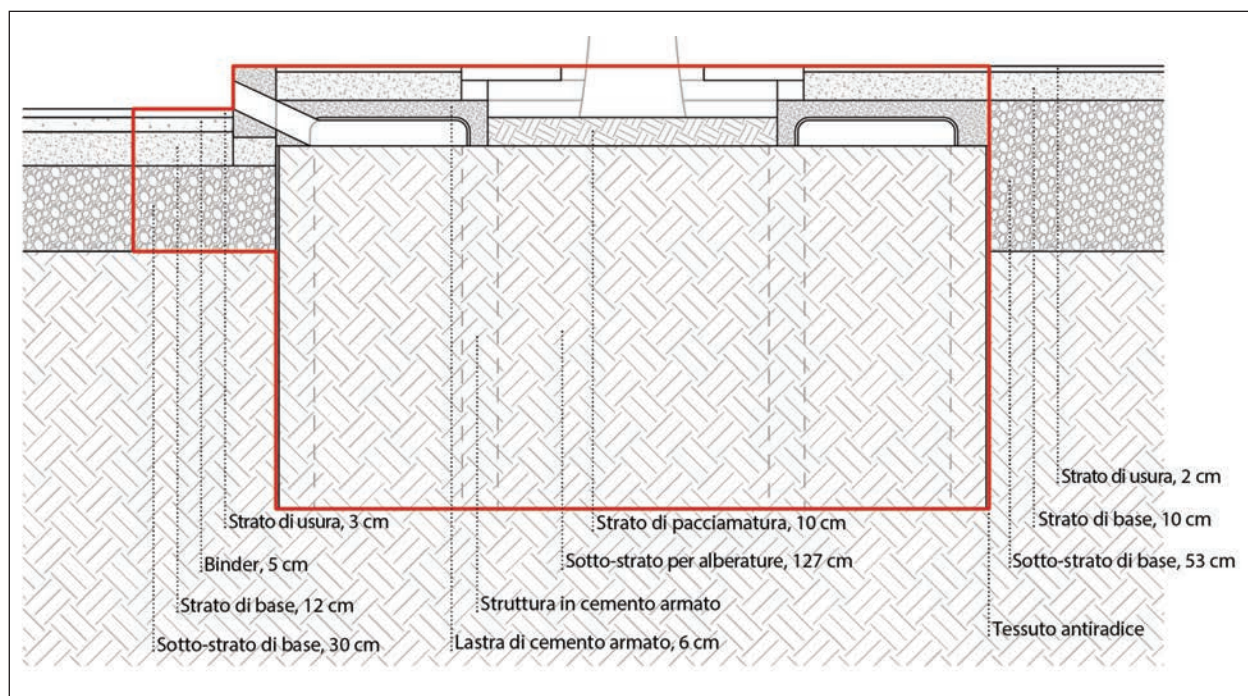


Figura 7. Stratigrafia alberature con sottostrutture di cemento (elaborazione da Bono et al., 2020).

Le alberature possono essere integrate con altre soluzioni NBS, come i giardini della pioggia, al fine di ridurre il deflusso delle acque piovane e ottimizzarne la gestione (Nature for cities, 2018). In questo caso sono analizzate le alberature con sottostrutture di cemento armato (Fig. 7).

Il valore di costo di costruzione stimato è più alto rispetto alle precedenti soluzioni analizzate. Tale aumento nel costo di costruzione è dovuto alla struttura in cemento sottostante, alla superficie della pavimentazione e alla griglia posta per proteggere la base dell'albero (Fig. 7). Il valore di costo di costruzione stimato è pari a 391,18 €/m² per il sistema e di 438,45 €/cad. (Tabella A4 in Appendice A). Il costo di manutenzione dei primi tre anni è stimato pari a 14,40 €/albero. Il costo di ciclo vita, invece, si compone del costo di rimozione del sistema dopo 40-60 anni, stimato pari a 73,73 €/m² e di un costo di rimozione di 310,41 €/cad. per albero. In letteratura non sono presenti molti dati di confronto rispetto a questa soluzione (Tab. 8). Viene indicato un valore di costo di costruzione del sistema compreso tra i 100€/m² e il 166 €/m². Per il costo di manutenzione, invece, viene riportato

lo stesso costo della soluzione del *rain garden*. Il valore di costo stimato tramite la WBS proposta è in linea con il prezzo proposto dalla «Pontarolo Engineering Spa», che propone un prezzo di 316,70 €/m² per la soluzione di sottostrutture in cemento per l'implementazione di alberature.

Tabella 8. Confronto costi stimati e costi reperiti in letteratura (elaborazione degli autori)

Fonte	NBS	Costo di costruzione		Costo di manutenzione		Costo di fine ciclo vita	U.M.
		Min.	Max.	Ordinaria	Straordinaria		
(Bonsignori et al., 2022)	Sottostrutture di cemento	100	166	7,98	16,62	-	€ ₂₀₂₄ /cad.
Pontarolo E. Spa	Sottostrutture di cemento	316,70		-	-	-	€ ₂₀₂₄ /cad.
	Sottostrutture di cemento	391,18		0,56	1,76	73,73	€ ₂₀₂₄ /cad.
Costi stimati con metodo WBS	Alberature	438,45	Irrigazione (primi 3 anni)				€ ₂₀₂₄ /cad.
					14,40		
			Manutenzione (0-5 anni)				€ ₂₀₂₄ /cad.
					28,79		310,41
			Manutenzione (6-15 anni)				€ ₂₀₂₄ /cad.
		66,17					
Manutenzione (16-40 anni)				€ ₂₀₂₄ /cad.			
		138,07					

5. Discussione e conclusioni

Gli interventi NBS sono riconosciuti come soluzioni efficaci per la mitigazione e l'adattamento ai cambiamenti climatici in ambito urbano (Carter et al., 2021; Olivieri et al., 2024). Tuttavia, la loro implementazione operativa rimane limitata, a causa di un'inadeguata formazione e informazione sull'applicazione di queste strategie e sui loro benefici (Netti et al., 2024; Vollaers et al., 2021), a cui si aggiunge la mancanza di strumenti adeguati per la stima e la gestione dei costi lungo l'intero ciclo di vita di queste soluzioni (European Commission, 2020; Sowińska-Świerkosz & García, 2022). La ricerca che si fonda sulla domanda di ricerca Q_1 si propone di colmare la carenza di strumenti specifici per la stima dei costi lungo il ciclo di vita delle NBS, tenendo conto della loro natura ecologica e delle caratteristiche del contesto di applicazione. Il risultato della ricerca consiste in un modello WBS basato sul sistema di classificazione UNIFORMAT II, che consente di analizzare le opere esterne attraverso tre livelli gerarchici, con l'aggiunta di un quarto livello dedicato ai sotto-componenti. Questo ulteriore livello facilita la stima dettagliata dei costi delle diverse lavorazioni. In questa prima fase della ricerca, il modello proposto è stato applicato per la stima dei costi delle NBS per la gestione delle acque nei contesti urbani. Questa prima applicazione del modello WBS proposto ha permesso di evidenziarne i maggiori punti di forza e alcune difficoltà di implementazione. In primo luogo, questa applicazione ha dimostrato l'efficacia della WBS così strutturata nel rappresentare le NBS in modo gerarchico e strutturato, scomponendole nelle loro componenti essenziali. Questo approccio semplifica la gestione della complessità e migliora la chiarezza nella valutazione dei costi. Inoltre, la struttura gerarchica della WBS si adatta alle specificità del contesto, garantendo maggiore flessibilità nella pianificazione e nell'implementazione degli interventi. Uno degli aspetti più rilevanti della WBS è la sua natura modulare e adattabile, che la rende una struttura di riferimento generale applicabile a diversi progetti. Grazie a questa caratteristica, gli elementi possono essere aggiunti o rimossi in base alle esigenze

specifiche di ciascun intervento, rendendola uno strumento versatile e applicabile a differenti contesti urbani. Inoltre, la sua adozione fornisce un quadro chiaro e standardizzato, migliorando la comunicazione tra i diversi attori coinvolti nel processo decisionale. La ricerca ha inoltre sottolineato l'importanza della stima dei costi lungo l'intero ciclo di vita delle NBS per garantirne un'implementazione e una gestione sostenibile. Considerare non solo i costi di costruzione, ma anche quelli di manutenzione e fine vita, è essenziale per valutare correttamente l'impatto economico e la sostenibilità a lungo termine di queste soluzioni. Infatti, un elemento di innovazione di questa applicazione è la stima dei costi di fine vita, un aspetto spesso trascurato in letteratura, ma fondamentale per una gestione efficace delle risorse (Sezione 2.3). Allo stesso tempo, però, tale applicazione ha messo in luce la difficoltà di reperire stratigrafie delle NBS dettagliate e consolidate per lo sviluppo della WBS.

In conclusione, il modello proposto rappresenta un significativo contributo alla valutazione economica delle NBS, offrendo un metodo replicabile e standardizzato per la stima dei costi del ciclo di vita e per l'individuazione dei soggetti sui quali i costi così determinati ricadono. La WBS si configura, quindi, come un valido strumento di alla progettazione e gestione delle soluzioni basate sulla natura, favorendo l'adozione di strategie più sostenibili per l'adattamento urbano ai cambiamenti climatici (Del Giudice et al., 2014; Stanganelli et al., 2021). Per quanto concerne i futuri campi di applicazione delle schede WBS proposte, la ricerca si propone di sviluppare un prezziario delle NBS in ambito urbano per dare indicazioni operative e supportare pubbliche amministrazioni e privati nella progettazione e gestione di queste soluzioni, fornendo adeguate informazioni sui costi del ciclo di vita di queste soluzioni.

Contributo degli autori

Concettualizzazione: G.D, A.G, A.O; Metodologia: G.D, A.G, A.O; Raccolta dati: A.G; Analisi formale: G.D; A.G; Redazione originale: G.D, A.G; Revisione e editing: G.D; M.D; A.O; Supervisione: M.D; A.O.

Bibliografia

- Aiona A., Coker A., Dunlap I., Simpson A. & Stevens H. (2020). City of Portland 2020 Stormwater Management Manual. December, 458. <https://www.portland.gov/bes/stormwater/swmm#toc-the-2020-stormwater-management-manual>
- Bauduceau N., Berry P., Cecchi C., Elmqvist T., Fernandez M., Hartig T., Krull W., Mayerhofer E., Sandra N. & Noring, L. (2015). Towards an EU research and innovation policy agenda for nature-based solutions & re-naturing cities: Final report of the horizon 2020 expert group on 'nature-based solutions and re-naturing cities'.
- Bono L., Callerio M., Conte G., Rizzo A. & Sejdullahu I. (2020). Soluzioni Naturalistiche (Nbs) Per La Città Metropolitana Di Milano. www.lifemetroadapt.eu
- Bonsignori R. & Senes G. (2022). Soluzioni progettuali tipo di infrastrutture verdi per la gestione delle acque meteoriche. <https://www.ilverdeeditoriale.com/PubFree/SuDS/SuDS.pdf>
- Carter T.R., Benzie M., Campiglio E., Carlsen, H., Fronzek S., Hildén M., Reyer C.P.O. & West C. (2021). A conceptual framework for cross-border impacts of climate change. *Global Environmental Change*, 69, 102307. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2021.102307>
- Castellar J.A.C., Popartan L.A., Pueyo-Ros J., Atanasova N., Langergraber G., Säumel I., Corominas L., Comas J. & Acuña V. (2021). Nature-based solutions in the urban context: terminology, classification and scoring for urban challenges and ecosystem services. *Science of The Total Environment*, 779, 146237. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.146237>
- Charette R.P. & Marshall H.E. (1999). UNIFORMAT II Elemental Classification for Building Specifications, Cost Estimating, and Cost Analysis, NISTIR 6389, Gaithersburg, MD: National Institute of Standards and Technology (p. 109). <http://www.uniformat.com/support-files/nistir-6389.pdf%5Cnhttp://fire.nist.gov/bfrlpubs/build99/PDF/b99080.pdf>
- Cohen-Shacham E., Andrade A., Dalton J., Dudley N., Jones M., Kumar C., Maginnis, S., Maynard, S., Nelson C.R., Renaud F.G., Welling R. & Walters G. (2019). Core principles for successfully implementing and upscaling Nature-based Solutions. *Environmental Science & Policy*, 98(May), 20–29. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2019.04.014>

- Davies C., Chen W.Y., Sanesi G. & Laforteza R. (2021). The European Union roadmap for implementing nature-based solutions: A review. *Environmental Science & Policy*, 121(April), 49–67. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2021.03.018>
- Del Giudice V., Passeri A., Torrieri F. & De Paola P. (2014). Risk Analysis within Feasibility Studies: An Application to Cost-Benefit Analysis for the Construction of a New Road. *Applied Mechanics and Materials*, 651–653, 1249–1254. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMM.651-653.1249>
- Dumitru A., Wendling L., Eiter S. & Pilla F. (2021). Evaluating the Impact of Nature-based Solutions: A Handbook for Practitioners. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.10757.47843>
- European Commission. (2020). Nature-based solutions : state of the art in EU-funded projects (T. Freitas, S. Vandewoestijne & T. Wild (eds.)). Publications Office of the European Union. <https://doi.org/doi/10.2777/236007>
- Faivre N., Fritz M., Freitas T., de Boissezon B. & Vandewoestijne S. (2017). Nature-Based Solutions in the EU: Innovating with nature to address social, economic and environmental challenges. *Environmental Research*, 159, 509–518. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2017.08.032>
- Ferrans P., Torres M.N., Temprano J. & Rodríguez Sánchez J.P. (2022). Sustainable Urban Drainage System (SUDS) modeling supporting decision-making: A systematic quantitative review. *Science of The Total Environment*, 806, 150447. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.150447>
- Fletcher T.D., Shuster W., Hunt W.F., Ashley R., Butler D., Arthur S., Trowsdale S., Barraud S., Semadeni-Davies A., Bertrand-Krajewski J.-L., Mikkelsen P.S., Rivard G., Uhl M., Dagenais D. & Viklander M. (2015). SUDS, LID, BMPs, WSUD and more – The evolution and application of terminology surrounding urban drainage. *Urban Water Journal*, 12(7), 525–542. <https://doi.org/10.1080/1573062X.2014.916314>
- Forte C. (1973). *Elementi di estimo urbano*. Etas Kompass. <https://books.google.it/books?id=74kPngEACAAJ>
- Gaona Currea J.A., Larrinaga López J., León Sarmiento J., Ortega Minakata A.T., Gorrotxategi Carbajo J., Soto Trujillo C., Camacho Otero J. & Ortiz de Urbina I. (2024). Ecohydrological Nature based-Solutions for Sustainable Cities: A Case Study based on Water Security and Modeling. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1363(1), 012076. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1363/1/012076>
- Institute Project Management. (2017). *Guide to the Project Management Body of Knowledge (PMBOK®Guide)—Sixth Edition*. Project Management Institute. <https://books.google.it/books?id=Rzc2DwAAQBAJ>
- International Union for Conservation of Nature. (2020). IUCN Global Standard for Nature-based Solutions: a user-friendly framework for the verification, design and scaling up of NbS : first edition (Arabic version). In *Global Standard for Nature-based Solutions: a user-friendly framework for the verification, design and scaling up of NbS*: IUCN, International Union for Conservation of Nature. <https://doi.org/10.2305/VCDL1542>
- Kellagher R., Martin P., Jefferies C., Bray R., Shaffer P., Wallingfor H.R., Woods-Ballard B., Woods Ballard B., Construction Industry Research and Information Association, Great Britain, Department of Trade and Industry & Environment Agency. (2015). *The SUDS Manual*. In Woods Ballard, B. Wilson, S. Udale-Clarke, H. Illman, S. Scott, T. Ashley, R. Kellagher, R. <http://www.persona.uk.com/A47postwick/deposit-docs/DD-181.pdf>
- Le Coent P., Graveline N., Altamirano M.A., Arfaoui N., Benitez-Avila C., Biffin T., Calatrava J., Dartee K., Douai A., Gnonlonfin A., Hérviaux C., Marchal R., Moncoulon D. & 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(June), 100002. <https://doi.org/10.1016/j.nbsj.2021.100002>
- Liu W., Chen W., Feng Q., Peng C. & Kang P. (2016). Cost-Benefit Analysis of Green Infrastructures on Community Stormwater Reduction and Utilization: A Case of Beijing, China. *Environmental Management*, 58(6), 1015–1026. <https://doi.org/10.1007/s00267-016-0765-4>
- Maes J., Teller A., Erhard M., Condé S., Vallecillo S., Barredo J., Paracchini M., Abdul Malak D., Trombetti M., Vigiak O., Zulian G., Addamo A., Grizzetti B., Somma F., Hagyo A., Vogt P., Polce C., Jones A., Marin A., ... Santos-Martín F. (2020). Mapping and assessment of ecosystems and their services : an EU wide ecosystem assessment in support of the EU biodiversity strategy : supplement (indicator fact sheets). Publications Office. <https://doi.org/doi/10.2760/519233>
- Masiero M., Biasin A., Amato G., Malaggi F., Pettenella D., Nastasio P. & Anelli S. (2022). Urban Forests and Green Areas as Nature-Based Solutions for Brownfield Redevelopment: A Case Study from Brescia

- Municipal Area (Italy). *Forests*, 13(3), 444. <https://doi.org/10.3390/f13030444>
- Morello E., Mahmoud I. & Colaninno N. (2019). Catalogue of Nature-Based Solutions for Urban Regeneration Pre-Final Report. September, 107.
- Nature for cities. (2018). NBS multi-scalar and multi-thematic typology and associated database (Issue 730468). <https://ec.europa.eu/research/participants/documents/downloadPublic?documentIds=080166e5bff18eb7&appId=PPGMS>
- Netti A.M., Abdelwahab O.M.M., Datola G., Ricci G.F., Damiani P., Oppio A. & Gentile F. (2024). Assessment of nature-based solutions for water resource management in agricultural environments: a stakeholders' perspective in Southern Italy. *Scientific Reports*, 14(1), 24668. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-76346-5>
- Olivieri F., Sassenou L.-N. & Olivieri L. (2024). Potential of Nature-Based Solutions to Diminish Urban Heat Island Effects and Improve Outdoor Thermal Comfort in Summer: Case Study of Matadero Madrid. *Sustainability*, 16(7), 2778. <https://doi.org/10.3390/su16072778>
- Pontarolo Engineering. (2024, May 27). Pontarolo Engineering Soluzioni <https://pontarolo.com/soluzioni/>
- Raymond C., Breil M., Nita M., Kabisch N., de Bel M., Enzi V., Frantzeskaki N., Geneletti G., Lovinger L., Cardinaletti M., Basnou C., Monteiro A., Robrecht H., Sgrigna G., Muhari L., Calfapietra C. & Berry P. (2017). An impact evaluation framework to support planning and evaluation of nature-based solutions projects. Report prepared by the EKLIPSE Expert Working Group on Nature-based Solutions to Promote Climate Resilience in Urban Areas. Centre for Ecology and Hydrology.
- 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(June 2019), 126579. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2019.126579>
- Sirishantha U. & Rathnayake U. (2017). Sustainable urban drainage systems (SUDS) – What it is and where do we stand today? *Engineering and Applied Science Research*, 44, 235–241. <https://doi.org/10.14456/easr.2017.36>
- Sistema Nazionale per la Protezione Dell'Ambiente. (2024). Consumo di suolo, dinamiche territoriale e servizi ecosistemici (Vol. 15, Issue 1).
- Somaris G., Stagakis S. & Chrysoulakis N. (2020). ThinkNature Nature-Based Solutions Handbook. ThinkNature project Funded by the EU Horizon 2020 Research Innovation Programme (Issue 730338).
- Sowińska-Świerkosz B. & García J. (2021). A new evaluation framework for nature-based solutions (NBS) projects based on the application of performance questions and indicators approach. *Science of The Total Environment*, 787, 147615. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.147615>
- Sowińska-Świerkosz B. & García J. (2022). What are Nature-based solutions (NBS)? Setting core ideas for concept clarification. *Nature-Based Solutions*, 2(January), 100009. <https://doi.org/10.1016/j.nbsj.2022.100009>
- Stanganelli M., Torrieri F., Gerundo C. & Rossitti M. (2021). A Strategic Performance-Based Planning Methodology to Promote the Regeneration of Fragile Territories. In *Lecture Notes in Civil Engineering* (Vol. 146, pp. 149–157). Springer Science and Business Media Deutschland GmbH. https://doi.org/10.1007/978-3-030-68824-0_16
- Utica G. (2011a). La stima sintetica del costo di costruzione. Il computo metrico e il coputo metrico estimativo per classi di elementi tecnici. Maggioli.
- Utica G. (2011b). Tecniche avanzate di analisi e gestione dei progetti. McGraw-Hill Companies. <https://books.google.it/books?id=Vi08YgEACAAJ>
- Vollaers, V., Nieuwenhuis E., van de Ven F. & Langeveld J. (2021). Root causes of failures in sustainable urban drainage systems (SUDS): an exploratory study in 11 municipalities in The Netherlands. *Blue-Green Systems*, 3(1), 31–48. <https://doi.org/10.2166/bgs.2021.002>
- Wickenberg B., McCormick K. & Olsson J.A. (2021). Advancing the implementation of nature-based solutions in cities: A review of frameworks. *Environmental Science & Policy*, 125, 44–53. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.envsci.2021.08.016>
- World Bank. (2021). A Catalogue of Nature-Based Solutions for Urban Resilience. In *A Catalogue of Nature-Based Solutions for Urban Resilience*. <https://doi.org/10.1596/36507>
- Zeleňáková M., Diaconu D.C. & Haarstad K. (2017). Urban Water Retention Measures. *Procedia Engineering*, 190, 419–426. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.05.358>

Appendice

Tabella A1. WBS per pavimentazione drenante

Livello 1 Classi di unità tecnologiche		Livello 2 Unità tecnologiche		Livello 3 Classi di elementi tecnologici		Livello 4 Sotto-elementi tecnologici	
ID	Nome	Unità	Costo	ID	Nome	Unità	Costo
G	Lavori di cantiere: Pavimentazione permeabile	1 m ²	141,63€	G10	Preparazione dei luoghi	1 m ²	31,63 €
+	Manutenzione stradale	1 m ²	17,62 €	G1000	Movimenti terra	1 m ²	7,46 €
	Nota: una larghezza di 50 cm ai margini del parcheggio è già inclusa nella voce precedente. Le linee dipinte sono trascurate.			G1010	Demolizione e approntamento dei luoghi Nota: Si considera una larghezza del parcheggio di 2,5 m, quindi, per 2,5 m ² di superficie, dovrebbero essere demoliti altri 6,5 m ² di strada.	1 m ²	24,17 €
+	Opera necessaria all'arrivo del cantiere	1 cad	262,87 €	G2000	Personi carati	1 m ²	85,04 €
	Nota: una larghezza di 50 cm ai margini del parcheggio è già inclusa nella voce precedente. Le linee dipinte sono trascurate.			G2010	Miglioramento del luogo Nota: Si considera una larghezza del parcheggio di 2,5 m, quindi, per 2,5 m ² di parcheggio, è necessario un ripascimento stradale di 6,5 m ² .	1 m ²	110,53 €
				G2020	Parcheggio Nota: Si considera una larghezza del parcheggio di 2,5 m, quindi, per 2,5 m ² di parcheggio, sono necessari un bordo e un contrassegno di 1 m.	1 m ²	93,32 €
				G2021	Fondo e sottofondo parcheggio	1 m ²	25,94 €
				G2022	Pavimentazione parcheggio Nota: Si considera un investimento enfuso del 60% con uno strato di sottopavimento di 7 cm di spessore tra le piste veicolari e un ulteriore strato di sottopavimento di 10 cm sotto di esse.	1 m ²	57,28 €
				G2023	Guardrails e barriere parcheggio	1 m	24,76 €
				G2024	Segnalica stradale Nota: E' considerata una striscia di 15 cm.	1 m	0,99 €
M	Manutenzione			M1012	Manutenzione annuale Nota: Si considera un ciclo di manutenzione e il ripristino di un metro del prato ogni anno.	1 m ²	0,98 €
				M1011	Manutenzione ventennale Nota: Si considera un investimento enfuso del 60% con uno strato di sottopavimento di 7 cm di spessore tra le piste veicolari e un ulteriore strato di sottopavimento di 10 cm sotto di esse.	1 m ²	55,70 €
				D1011	Fine vita Nota: E' considerata una NBS di 50 cm di profondità, è richiesta la rimozione di un cubo di 1 m per ogni 2,5 m ² di parcheggio e 1 m di estrazione temporanea per ogni lato.	1 m ²	24,86 €

Tabella A3. WBS per *raingarden* con alberature

Livello 1 Classi di unità tecnologiche		Livello 2 Unità tecnologiche		Livello 3 Classi di elementi tecnologici		Livello 4 Sotto-elementi tecnologici	
ID	Nome	Unità	Costo	ID	Nome	Unità	Costo
G	Linee di cantiere: Giardino della pioggia	1 m ²	195,72 €	G10	Preparazione dei luoghi	1 m ²	48,47 €
+				G1000	Demolizione e approntamento dei luoghi <i>Nota: Si considera una lunghezza del giardino planitale di 2,5 m, quindi, per 2,5 m² di giardino planitale, è necessario un ripascimento stradale di 0,5 m².</i>	1 m ²	24,37 €
	Alberi di medie dimensioni	1 ea	254,03 €	G1020	Movimenti terra Movimenti terra <i>Nota: Si considera una lunghezza del giardino planitale di 2,5 m, quindi, per 2,5 m² di giardino planitale, è necessario una recinzione e un impianto di 1 m per ogni lato.</i>	1 m ²	24,30 €
+				G200	Miglioramenti del luogo Miglioramenti del luogo <i>Nota: Si considera una lunghezza del giardino planitale di 2,5 m, quindi, per 2,5 m² di giardino planitale, è necessario un ripascimento stradale di 0,5 m².</i>	1 m ²	147,25 €
	Opere necessarie all'avvio del cantiere	1 cad	263,67 €				
				G2010	Percorsi canali <i>Nota: Le linee sono inclinate.</i>	1 m ²	85,04 €
				G2011	Fondo stradale	1 m ²	71,49 €
				G2012	Opere provvisorie	1 m	18,66 €
				G2013	Segnaletica stradale orizzontale dipinta <i>Nota: Si considera un tratto stradale di 30 cm.</i>	1 m ²	13,55 €
				G2021	Sudde-imbudipiantumazione <i>Nota: Si considera uno sotto-strato di 15 cm per il manto erboso e un sotto-strato di 100 cm per gli alberi. È richiesto, inoltre, un tassato antiscivolo lungo i bordi verticali dell'intervento di 1,2m.</i>	1 m ²	119,57 €
				G2022	Semina Semina	1 m ²	0,77 €
				G2023	Piantumazione	1 ea	254,03 €
				G2024	Condolo	1 m	24,79 €

Tabella A4. WBS per alberature

Livello 1 Classi di unità tecnologiche		Livello 2 Unità tecnologiche		Livello 3 Classi di elementi tecnologici		Livello 4 Sotto-elementi tecnologici					
ID	Nome	Unità	Costo	ID	Nome	Unità	Costo				
G	Lavori di cantiere: Viale alberato	1 m ²	391,18 €	G10	Preparazione dei luoghi	1 m ²	55,37 €	G1011	Demolizione di componenti Demolizione di componenti	1 m ²	20,14 €
	+								Nota: Si considera demolizione dello strato di marciapiede stradale profondo 30 cm.		
	Alberi	1 cad	600,84 €						Rimozione cordolata	1 m	17,26 €
	Nota: Sono state sottratte le porzioni di 1 m ² di pavimentazione non necessarie o assenti dalla presenza dell'albero			G1020	Movimento terra Movimenti terra	1 m ²	24,30 €	G1021	Scavi	1 m ²	16,84 €
	+				Nota: Si considera un'area di 2,5 m, quindi per 2,5 m ² di progetto, è necessario un'operazione temporanea di 1 m per ogni lato.				Nota: Si considera uno scavo di 90 cm		
	Manutenzione stradale	1 m ²	17,62 €					G1022	Opere provvisorie	1 m	18,66 €
	Nota: Una larghezza di 50 cm al bordo del progetto è già inclusa nel primo elemento. Le linee dipinte sono tracciate.			G20	Miglioramenti del luogo	1 m ²	335,81 €		Nota: È richiesta una recinzione temporanea di 1 m per ogni lato del cantiere, pertanto la dimensione è riferita a 7 m di cantiere		
	+				Nota: Si considera un progetto di lunghezza di 2,5 m, quindi per 2,5 m ² di progetto, è necessario un ripristino stradale di 0,5 m ² .			G2011	Fondo stradale	1 m ²	85,26 €
	Manutenzione marciapiede	1 m ²	16,15 €						Nota: E' considerato uno strato di base di 50 cm		
	+							G2012	Pavimentazioni stabili	1 m ²	13,55 €
	Opera necessaria all'avvio del cantiere	1 cad	262,87 €					G2013	Segnaletica stradale orizzontale dipinta	1 m ²	6,57 €
								G2021	Pavimentazione	1 m ²	37,28 €
									Nota: Si considera un sotto-strato di base di 10 cm		
								G2022	Cordoli	1 m	33,69 €
								G2031	Suoleletti di piantumazione	1 m ²	132,79 €
									Nota: Si considera un sotto-strato per alberi di 1,27 m, inoltre, è richiesto un spazio analitico e lungo i bordi verticali dell'intervento di 1,27 m.		
									+		
									Alberi	1 cad	792,73 €
									Strato di pacciamatura	1 m ²	14,39 €
									+		
									Piantumazione	1 cad	254,02 €
									Altre opere di paesaggio	1 m ²	132,53 €
									+		
									Griglia	1 cad	522,45 €
									Nota: Si considera un'armatura in acciaio da 110 kg per 1 m ² di calcestruzzo e uno strato di calcestruzzo di 6 cm		

DEI PLUS PREMIUM

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

DEI PREMIUM PLUS

Una banca dati, mille servizi

La banca dati dei prezzi DEI aggiornata mensilmente

Cosa ti offre **DEIPLUS PREMIUM**:

1



Tutte le voci dei **PREZZARI DEI** dal 2018 (più di 88.000)

2



Tutte le voci dei **PREZZARI REGIONALI** dal 2023

3



Normativa tecnica indispensabile al progettista.

Più di 17.000 provvedimenti ricercabili per testo, per classificazione e per estremi (tipologia, numero, data)

4



Schede merceologiche: per ogni voce di materiale è presente la relativa scheda tecnica delle varie aziende produttrici

5



Biblioteca digitale: più di 100 volumi sfogliabili del mondo dell'edilizia. Ambiente e bioedilizia, Capitolati, Codici, Consolidamento e restauro, Geotecnica, Progettazione, Sicurezza e tanti altri argomenti

Più di 34.000 pagine per un valore di 4.500 € in libri

6



18 Check-list: listini precompilati con tutte le voci necessarie per i lavori più frequenti tra cui rifacimento bagno, rifacimento facciata, impianto fotovoltaico, impianto riscaldamento condominio, villino tipo

7



METRICODEI: il software per creare il computo metrico, completamente integrato con la banca dati DEIPLUS PREMIUM

La fattibilità degli interventi *Nature-Based Solutions* (NBS): la stima dei costi attraverso il modello *Work Breakdown Structure* (WBS)

Giulia Datola^{1*}, Andrea Ghisoni², Marta Dell'Ovo¹, Alessandra Oppio¹

¹ Dipartimento di Architettura e Studi Urbani (DAStU), Politecnico di Milano, Via Bonardi 3, 20133 Milano, Italia; giulia.datola@polimi.it; marta.dell'ovo@polimi.it; alessandra.oppio@polimi.it

² Politecnico di Milano, Piazza Leonardo da Vinci 32, 20133 Milano, Italia; andrea.ghisoni1@polimi.it

* autore corrispondente

Parole chiave

Nature-Based Solution (NBS), Valore di costo globale, *Work Breakdown Structure* (WBS), Ciclo di vita

Abstract

L'implementazione delle *Nature-Based Solutions* (NBS) in ambito urbano, promossa da diverse politiche a livello nazionale e internazionale, rappresenta una strategia sostenibile per la mitigazione e l'adattamento ai cambiamenti climatici. Tuttavia, nonostante il loro potenziale nel favorire la transizione verso città più resilienti e sostenibili, la loro implementazione operativa risulta ancora parziale. Una delle principali criticità che ne ostacola la diffusione, oltre a una limitata informazione e consapevolezza sui benefici, è la mancanza di strumenti efficaci per la stima dei costi relativi all'intero ciclo di vita di tali soluzioni. Questo studio si pone l'obiettivo di rispondere a questa necessità, proponendo l'utilizzo della *Work Breakdown Structure* (WBS) come strumento per la rappresentazione gerarchica e strutturata delle NBS. L'approccio permette di fornire in modo congiunto una dettagliata descrizione degli interventi e una chiara classificazione delle voci di costo, migliorando la pianificazione e la gestione economica di tali soluzioni. Il modello proposto è stato applicato per la stima dei costi delle NBS per la gestione delle acque urbane (SUDS), dimostrandone l'efficacia nel fornire una valutazione economica analitica e adatta alle specificità di ciascuna soluzione. Uno dei maggiori punti di forza della WBS è la sua struttura modulare e flessibile, che la rende un riferimento generale, applicabile e adattabile a diversi contesti progettuali. Inoltre, la ricerca ha evidenziato l'importanza della stima dei costi lungo l'intero ciclo di vita delle NBS per garantirne un'implementazione e gestione sostenibile, contribuendo così alla loro diffusione e integrazione nelle strategie urbane di adattamento climatico.

1. Introduzione

Il tema del cambiamento climatico e la conseguente adozione di misure di adattamento e di mitigazione negli ambiti urbani stanno assumendo un'importanza crescente. L'innalzamento delle temperature medie, la diminuzione complessiva delle precipitazioni e la maggiore frequenza di eventi meteorologici estremi (Carter et al., 2021; Olivieri et al., 2024) rendono vulnerabili le esistenti infrastrutture urbane, che si rivelano spesso inadeguate a garantire una efficace gestione della portata degli eventi estremi (Davies et al., 2021; Faivre et al., 2017). In questo contesto, le *Nature-Based Solutions* (NBS) si configurano come strategie per l'implementazione di interventi di mitigazione e adattamento dei sistemi urbani (Masiero et al., 2022) supportando la transizione verso uno sviluppo sostenibile e

resiliente nelle città (Raymond et al., 2017) attraverso la massimizzazione delle interazioni tra natura, società ed economia (Dumitru et al., 2021).

L'implementazione delle NBS negli ambienti urbani è incoraggiata e inquadrata all'interno di politiche internazionali e nazionali, come il *Green Deal*, i *Sustainable Development Goals* (SDGs) e il Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza (PNRR). Questi *framework* riconoscono le NBS come strategie di rigenerazione urbana per la loro capacità di affrontare e fornire allo stesso tempo benefici multi-dimensionali legati alla dimensione ambientale, sociale ed economica (Wickenberg et al., 2021). Pertanto, NBS come la silvicoltura urbana, i Sistemi di Drenaggio Urbano Sostenibile (SUDS) e le reti infrastrutturali blu-verdi (Dumitru et al. 2021) possono offrire molteplici benefici, tra cui la riduzione del rischio di inondazioni, inquinamento delle acque, inquinamento dell'aria ed effetti isola di calore (Sowińska-Świerkosz & García, 2022).

Tuttavia, l'implementazione operativa delle NBS nei contesti urbani e peri-urbani rimane limitata, non solo a causa di un'inadeguata formazione e informazione sull'applicazione di queste strategie e sui loro benefici (Netti et al., 2024; Vollaers et al., 2021), ma anche per l'assenza di uno strumento di valutazione idoneo, capace di stimare i costi di implementazione e manutenzione delle diverse soluzioni NBS, nonché i benefici generati in una prospettiva monetaria (Maes et al., 2020; Sowińska-Świerkosz & García, 2022).

In questo contesto, la presente ricerca si propone di sviluppare un sistema di classificazione per stimare i costi dell'intero ciclo di vita delle soluzioni NBS. A tal fine, viene proposto un modello basato sulla *Work Breakdown Structure* (WBS). Tradizionalmente utilizzata per l'analisi e la stima analitica dei costi di costruzione in ambito edilizio, la WBS è stata in questo caso adattata per descrivere e stimare i costi dell'intero ciclo di vita delle NBS per la gestione delle acque piovane in ambito urbano. Questo modello consente di rappresentare in modo dettagliato le soluzioni progettuali, analizzarne la struttura e stimare i costi lungo tutto il loro ciclo di vita. L'obiettivo è fornire uno strumento di riferimento utile per la stima economica e adattabile a una pluralità di contesti.

L'articolo è organizzato in 5 sezioni. La sezione 2 introduce e descrive il concetto di NBS, evidenziandone le caratteristiche peculiari, con un approfondimento specifico sulle NBS per la gestione delle acque in ambito urbano. La sezione 3 illustra il metodo alla base della costruzione del modello proposto per la stima dei costi delle NBS. La sezione 4 descrive in modo dettagliato la struttura del modello WBS proposto e le voci di costo che sono state considerate. Tale sezione illustra, inoltre, i risultati ottenuti dall'applicazione delle schede WBS sviluppate per le soluzioni NBS analizzate nella presente ricerca. La sezione 5 è dedicata alle conclusioni, proponendo un'analisi critica delle potenzialità e delle criticità del modello, oltre a suggerire possibili sviluppi futuri della ricerca.

2. Nature-Based Solutions (NBS)

2.1 Definizione

Il termine NBS rappresenta un concetto ombrello, introdotto per favorire lo sviluppo sostenibile affrontando in modo integrato le sfide urbane di natura sociale, economica e ambientale (Castellar et al., 2021). La sua prima menzione risale al 2008, quando fu introdotto dalla *World Bank* (Leary et al., 2008). Il concetto è stato da quel momento oggetto di numerose definizioni, sviluppate sia in ambito accademico che nelle politiche pubbliche. Questa sezione non si propone l'obiettivo di fornire un elenco esaustivo di tali definizioni, ma di offrire una panoramica generale sull'argomento. Nel 2015, la Commissione Europea ha definito le NBS come "*soluzioni ispirate e supportate dalla natura, che sono convenienti, forniscono simultaneamente benefici ambientali, sociali ed economici e aiutano a creare resilienza. Tali soluzioni portano una natura e caratteristiche e processi naturali sempre più diversificati in città, paesaggi e paesaggi marini attraverso interventi adattati localmente, efficienti in termini di risorse e sistemici.*" (Bauduceau et al., 2015). Nel 2020, l'*International Union for Conservation of Nature* (IUCN) ha introdotto il *Global Standard* (IUCN, 2020), stabilendo criteri più chiari per la definizione delle NBS. Secondo la IUCN, le NBS sono "*azioni per proteggere, gestire in modo sostenibile e ripristinare ecosistemi naturali o modificati che affrontano le sfide sociali in modo efficace e adattivo, fornendo simultaneamente benefici per il benessere umano e la biodiver-*

sità". I *Global Standard* stabiliscono inoltre otto criteri che le soluzioni devono soddisfare per essere considerate NBS, ovvero:

- affrontare le sfide sociali. Lo scopo di questo criterio è garantire che le NBS siano progettate come risposta a una o più sfide sociali identificate come prioritarie dagli attori che saranno direttamente interessati, quali, ad esempio, la creazione di nuovi posti di lavoro, l'adattamento e la mitigazione degli effetti del cambiamento climatico, l'aumento della fornitura di Servizi Ecosistemici (SE), *food security* e *water security*. Questo criterio, inoltre, pone l'attenzione sul coinvolgimento nel processo decisionale di tutte le parti interessate;
- interazione tra economia, società ed ecosistema. La progettazione deve considerare la scala appropriata, integrando aspetti ecologici, economici e sociali per rispondere all'interazione tra queste dimensioni. Al fine di garantire soluzioni durature e sostenibili, la progettazione deve richiedere un inquadramento sistemico che riconosca e affronti queste interazioni e le integri nel processo decisionale;
- guadagno di biodiversità. La progettazione e l'implementazione delle NBS devono evitare di compromettere l'integrità del sistema e migliorare la funzionalità e la connettività dell'ecosistema;
- fattibilità economica. Tale criterio richiede che venga data sufficiente considerazione alla fattibilità economica dell'intervento, sia in fase di progettazione, sia attraverso il monitoraggio. La fattibilità economica deve essere adeguatamente affrontata, al fine di mettere a sistema benefici a lungo termine, con costi di investimento a breve termine;
- governance inclusiva, trasparente e responsabile. Tale criterio richiede che le NBS riconoscano, coinvolgano e rispondano alle necessità mosse dai diversi stakeholders. Inoltre, questo criterio dispone che le NBS aderiscano alle disposizioni regolamentari vigenti;
- bilancio equo dei compromessi per il raggiungimento degli obiettivi primari e la continua fornitura di altri benefici. I compromessi nell'ambito della gestione del territorio e delle risorse naturali sono inevitabili. Questo criterio richiede di riconoscere la complessità relativa alla gestione delle risorse e di adottare un approccio equo, trasparente e inclusivo nella loro gestione. L'obiettivo è, quindi, garantire che i compromessi siano gestiti efficacemente sia nel tempo che nello spazio, attraverso processi che coinvolgano tutte le parti interessate, garantendo una valutazione accurata e una piena trasparenza tra i soggetti coinvolti su come affrontare i potenziali impatti;
- gestione adattiva. Tale criterio richiede che i piani di attuazione delle NBS consentano la gestione adattiva delle soluzioni per rispondere all'incertezza e utilizzare in modo strategico la resilienza degli ecosistemi;
- sostenibilità e integrazione in un contesto istituzionale appropriato. Questo criterio richiede che gli interventi NBS siano progettati e gestiti in un'ottica di sostenibilità a lungo termine e che tengano conto, interagiscano e si allineino con i quadri politici settoriali, nazionali e di altro tipo.

Sebbene le definizioni di NBS possano essere differenti e molteplici, è possibile individuare alcuni elementi comuni, quali:

- la presenza della componente naturale. L'elemento biologico è essenziale in questi sistemi, rendendo l'uso della natura una caratteristica imprescindibile;
- la convenienza economica. Queste soluzioni devono essere sostenibili dal punto di vista finanziario, con costi di implementazione e manutenzione ragionevoli lungo l'intero ciclo di vita, garantendo un rapporto positivo tra costi e benefici a lungo termine (Sowińska-Świerkosz & García, 2022);
- la fornitura di benefici multipli. Le NBS devono offrire vantaggi che le infrastrutture grigie non possono garantire, mantenendo al contempo prestazioni comparabili. Devono migliorare sia la qualità degli ecosistemi naturali, sia il benessere delle persone. Poiché l'obiettivo non

è solo creare un ambiente più vivibile per gli esseri umani, ma anche tutelare la natura. È fondamentale, quindi, che queste soluzioni abbiano un impatto positivo sulla biodiversità.

2.2 Le NBS per la gestione delle acque in ambito urbano

L'espansione urbana ha determinato un progressivo aumento della superficie impermeabilizzata, con impatti rilevanti sull'ambiente. Secondo i dati ISPRA - Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale (Sistema Nazionale per la Protezione Dell'Ambiente, 2024), a livello nazionale il consumo di suolo ha raggiunto il 7,16% del territorio, valore che sale al 7,26% escludendo le aree occupate da corpi idrici permanenti, confermando una tendenza in costante crescita. In questo contesto, l'implementazione di soluzioni NBS capaci di intercettare, immagazzinare o rilasciare gradualmente l'acqua piovana in modo efficace nelle aree urbane, riducendone così l'afflusso nei sistemi di raccolta e drenaggio delle acque piovane, è un argomento di grande e crescente interesse a livello nazionale e internazionale (Fletcher et al., 2015; Sirishantha & Rathnayake, 2017). Queste soluzioni, note anche come *Sustainable Urban Drainage Systems* (SUDS), svolgono un ruolo fondamentale nel supportare la rete fognaria durante eventi di pioggia intensa, riducendone il rischio di saturazione. Inoltre, facilitano l'infiltrazione delle acque di prima pioggia, contribuendo alla loro depurazione grazie all'azione combinata delle radici e del suolo, che trattano e degradano gli inquinanti. Questa funzione di disoleazione e filtrazione può essere applicata in contesti urbani caratterizzati da superfici minerali, sia in ambiti residenziali che in grandi aree impermeabilizzate, come spazi abbandonati, parcheggi, piazze e bordi stradali (Ferrans et al., 2022).

Le NBS costituiscono, quindi, un approccio innovativo e sostenibile per la gestione delle acque in ambito urbano, offrendo un'alternativa efficace e complementare ai tradizionali sistemi di drenaggio. Queste soluzioni non solo migliorano la capacità delle città di affrontare eventi meteorologici estremi, ma contribuiscono anche a rafforzare la resilienza urbana, rappresentando una strategia chiave per l'adattamento e la mitigazione degli effetti del cambiamento climatico (Bauduceau et al., 2015). In questo ambito, diverse pubblicazioni enfatizzano l'uso di sistemi di gestione delle acque che imitano i processi naturali di infiltrazione per trattare le acque meteoriche (Aiona et al., 2020; Somaris et al., 2020; Zeleňáková et al., 2017), per garantire la sicurezza idrica (Emmanuelle Cohen-Shacham et al. 2016), e per migliorare la resilienza urbana (Kellagher et al., 2015; World Bank, 2021).

Le principali tipologie di NBS applicabili alla gestione delle acque urbane sono riportate in Tabella 1.

Tabella 1. NBS per la gestione delle acque in ambito urbano (elaborazione da Kellagher et al. 2015; Zeleňáková, Diaconu, and Haarstad 2017; Cohen-Shacham et al. 2016; Bono et al., 2020; Aiona et al., 2020; Somaris, Stagakis, and Chrysoulakis 2020)

Nature-Based Solution	Descrizione
Paludi (<i>Swales</i>)	Soluzioni progettate per gestire il deflusso proveniente da ampie superfici impermeabili, come parcheggi o strade, attraverso processi di assorbimento, accumulo e convogliamento delle acque superficiali. Inoltre, queste soluzioni contribuiscono alla rimozione di inquinanti e sedimenti, migliorando la qualità dell'acqua.
Bacini di infiltrazione (<i>Infiltration basins</i>)	Facilitano l'infiltrazione del deflusso attraverso la superficie superiore della trincea, permettendone la successiva filtrazione negli strati sottostanti.
Giardini della pioggia (<i>Rain garden</i>)	Piccole depressioni nel terreno ricoperte di vegetazione, destinate a raccogliere e trattare l'acqua piovana drenata dalle superfici impermeabili circostanti.
Alberature (<i>Trees</i>)	Soluzioni dall'elevata multifunzionalità, hanno molteplici impatti visivi e fisici sulla qualità della vita nelle aree urbane, intercettano l'acqua piovana e gli inquinanti associati, oltre a limitare il fenomeno dell'isola di calore.
Stagni e zone umide (<i>Ponds and wetlands</i>)	Si tratta di bacini con uno strato d'acqua permanente destinati a raccogliere e gestire l'acqua piovana. Questi sistemi possono assolvere a diverse funzioni, tra cui la laminazione del deflusso, il trattamento delle acque meteoriche, il potenziamento della biodiversità e l'incremento delle possibilità di utilizzo dell'area.

Segue **Tabella 1**. NBS per la gestione delle acque in ambito urbano (elaborazione da Kellagher et al. 2015; Zelenáková, Diaconu, and Haarstad 2017; Cohen-Shacham et al. 2016; Bono et al., 2020; Aiona et al., 2020; Somaris, Stagakis, and Chrysoulakis 2020)

Nature-Based Solution	Descrizione
Sistemi di pavimentazione permeabili (<i>Permeable paving</i>)	Permettono il deflusso superficiale delle acque meteoriche, favorendone l'infiltrazione nel terreno tramite elementi modulari dotati di vuoti o giunti, riempiti con materiali permeabili che facilitano l'assorbimento del ruscellamento.
Riapertura dei corsi d'acqua urbani interrati (<i>Reopening of buried urban waterways</i>)	Rimozione della copertura esistente, nel ripristino di un substrato naturale e nella riquadratura della vegetazione attraverso l'inserimento di piante acquatiche e una fascia riparia composta da specie arbustive e arboree
Ripristino di zone umide e pianure alluvionali in ambiti peri-urbani (<i>Restoration of wetlands and floodplains in peri-urban settings</i>)	Il mantenimento e/o il ripristino di pianure alluvionali consente di ridurre i rischi di inondazione, preservando il flusso naturale dei fiumi e fornendo al tempo stesso habitat per la biodiversità.

Nell'ambito delle NBS per la gestione delle acque meteoriche nei contesti urbani, questa ricerca si concentra sull'analisi di quelle soluzioni che possono essere facilmente implementate lungo i bordi stradali, parallelamente o in sostituzione dei parcheggi esistenti. Tale scelta è stata determinata dalla necessità di ottimizzare l'uso dello spazio urbano, migliorando al contempo la gestione delle acque meteoriche. In particolare, sono state analizzate e valutate attraverso l'approccio proposto, con relativa stima analitica dei costi, le seguenti soluzioni: (1) pavimentazione drenante, (2) *rain garden*, (3) *rain garden* con alberature, e (4) alberature.

2.3 Stima dei costi delle NBS: stato dell'arte

Come evidenziato nella Sezione 1, l'implementazione delle NBS in ambito urbano è spesso limitata dalla difficoltà di stimarne i costi del loro ciclo di vita. Questa sezione fornisce una panoramica dello stato dell'arte relativo alla tematica della valutazione dei costi di implementazione e manutenzione delle soluzioni NBS. Dall'analisi della letteratura condotta nello studio Torrieri et al. (2025) emerge che la maggior parte delle ricerche si basa su una stima parametrica dei costi medi di implementazione. Solo due degli studi esaminati hanno adottato un approccio più dettagliato, utilizzando listini prezzi specifici per il contesto di riferimento e fornendo informazioni sulle fasi di realizzazione (Gaona Currea et al., 2024; Sikorska et al., 2020). Inoltre, i costi di manutenzione risultano essere meno approfonditi rispetto a quelli di implementazione, nonostante la loro rilevanza nell'ambito dell'intero ciclo di vita delle NBS. In aggiunta, la descrizione dell'intervento e delle opere necessarie alla realizzazione dello stesso non è sufficientemente dettagliata in molti dei casi analizzati, rendendo difficile l'adattamento della stima parametrica al contesto specifico (Le Coent et al., 2021). Questo quadro evidenzia la necessità di una metodologia strutturata e standardizzata per la stima dei costi di implementazione e manutenzione delle NBS, che tenga conto di tutte le componenti e delle specificità dei contesti di applicazione. Tale esigenza è strettamente legata a uno dei criteri definiti dall'IUCN, secondo cui le NBS devono garantire la convenienza economica, presentando costi di implementazione e gestione sostenibili lungo l'intero ciclo di vita.

3. Metodologia

Come evidenziato nell'introduzione (Sezione 1), la presente ricerca analizza la tematica dell'implementazione delle NBS in ambito urbano, attualmente suggerita da diverse politiche nazionali e internazionali per i molteplici benefici che tali soluzioni apportano in termini di mitigazione degli effetti del cambiamento climatico.

La Figura 1 rappresenta il diagramma di flusso che illustra il processo metodologico alla base della presente ricerca, articolato in quattro fasi principali: (1) analisi della tematica, (2) identificazione della domanda e dell'obiettivo della ricerca, (3) metodologia e (4) risultati. La prima fase riguarda l'analisi della tematica relativa all'implementazione delle NBS in ambito urbano, da cui si evidenziano molteplici punti di forza e opportunità, ma anche diverse criticità e necessità operative. Sulla base di quest'ultime, è stata definita la principale domanda di ricerca Q_1 "Come stimare i costi di implementazione, manutenzione e fine ciclo vita delle NBS, considerando le diverse voci di lavoro e le peculiarità localizzative?". A partire da questa domanda, la ricerca si pone l'obiettivo di proporre un modello strutturato, operativo e replicabile per la stima dei costi del ciclo di vita delle NBS. La metodologia alla base della ricerca per raggiungere l'obiettivo prefissato e rispondere alla domanda di ricerca Q_1 comprende (1) il concetto di costo globale per l'identificazione di tutte le voci di costo del ciclo di vita (Forte, 1973), (2) la disamina dei metodi di stima del costo (sintetici e analitici) (Utica, 2011a, 2011b), (3) lo studio del modello della *Work Breakdown Structure* (WBS) utilizzato per la scomposizione del progetto in elementi di lavoro, e (4) l'analisi dei sistemi di classificazione, quali l'UNI 8290 e l'UNIFORMAT II.

Il risultato finale è rappresentato da un modello WBS, specificamente strutturato per la stima dei costi dell'intero ciclo di vita delle NBS. Tale modello è stato inoltre applicato per la stima dei costi delle NBS per la gestione delle acque meteoriche nei contesti urbani, quali (1) pavimentazione drenante, (2) giardino della pioggia (*rain garden*), (3) giardini della pioggia con alberature e (4) alberature urbane. La presente sezione riprende i fondamenti metodologici alla base dell'approccio proposto, riprendendo brevemente il concetto di valore di costo globale (sezione 3.1), introducendo l'approccio WBS (sezione 3.2) e illustrando i sistemi di classificazione che possono essere utilizzati per lo sviluppo della WBS (sezione 3.3).

3.1 Valore di costo globale

Analizzando il valore di costo rispetto all'intero ciclo di vita di un progetto (ideazione, realizzazione, consegna, gestione e dismissione) si devono considerare tutti quei valori relativi alle diverse situazioni temporali e riferiti ai diversi operatori. Questi elementi contribuiscono alla determinazione del valore di costo globale, fornendo una visione complessiva e strutturata delle risorse economiche necessarie per l'intero arco di vita del progetto. Il valore di costo globale è definito dalla somma di tutte le spese prevedibili che risultano necessarie per garantire la corretta utilizzazione del progetto nel corso della sua vita utile (costi prevedibili di gestione e manutenzione) nonché dalla stima delle spese che dovranno essere sostenute per la dismissione dell'opera residua (costi prevedibili di dismissione). La Figura 2 schematizza le diverse fasi del ciclo di vita di un progetto e ne elenca le diverse voci di costo.

Il valore di costo globale può essere così descritto dall'Eq. 1:

$$V_{GLOB}^C = V_{TOT}^C + V_{ES}^C + V_{RES} \quad (1)$$

Dove:

V_{TOT}^C è il valore di costo totale;

V_{ES}^C è il valore di costo di esercizio, dato dalla somma dei costi di manutenzione V_{MAN}^C e di gestione V_{GEST}^C , come definito dalla formula $V_{ES}^C = V_{MAN}^C + V_{GEST}^C$;

V_{RES} è il valore residuo, che può essere dato o dal valore del costo di dismissione o valore residuo positivo riconosciuto a quello che resta.

Pertanto, si può affermare che il valore di costo globale di un progetto è costituito dall'insieme delle spese che il soggetto attivo (investitore, committente, impresa) deve sostenere per garantire il risultato della produzione, il mantenimento della funzione programmatica e la dismissione quando verranno meno i presupposti che consentono un suo vantaggioso utilizzo (Utica, 2011a).

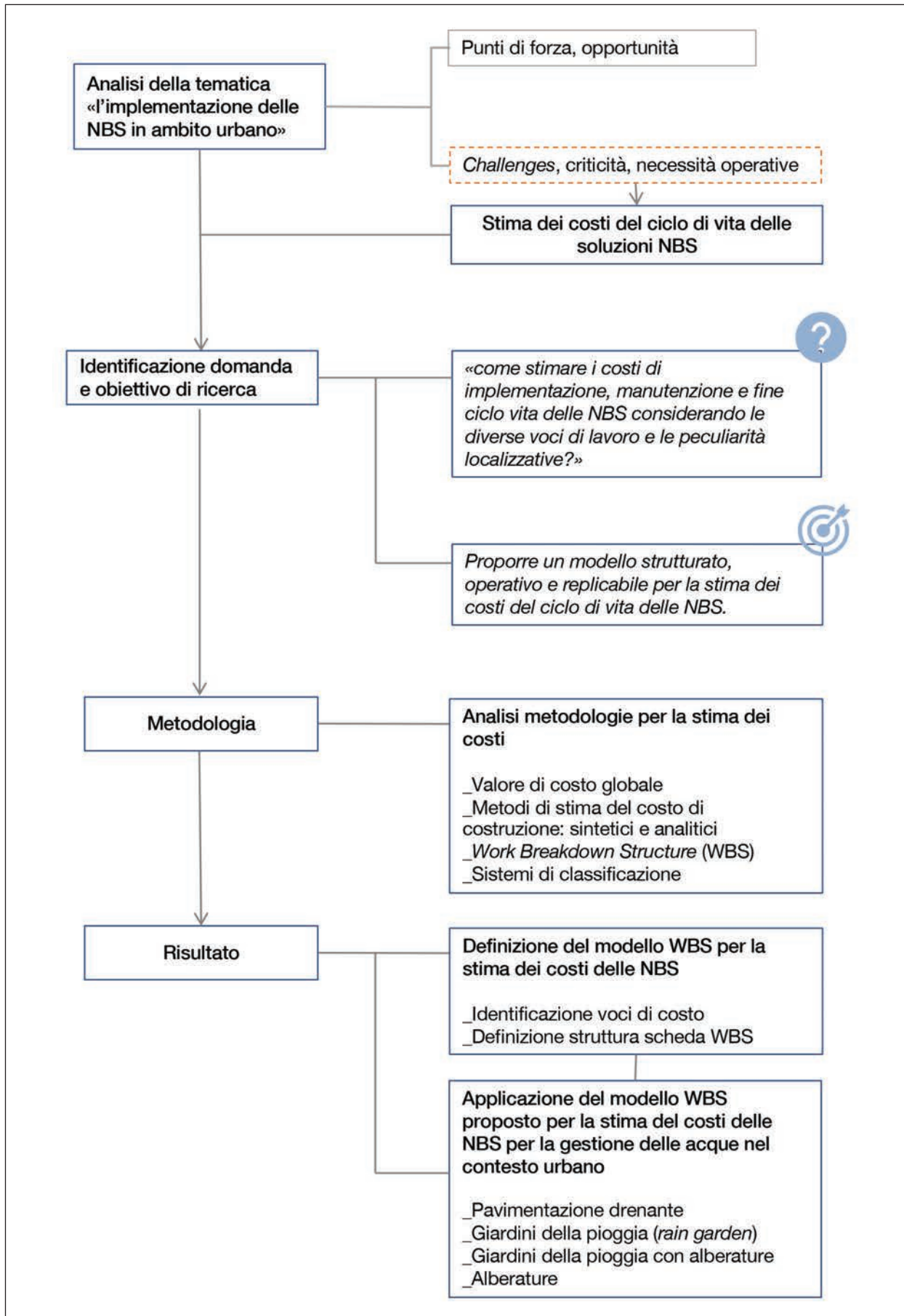


Figura 1. Diagramma di flusso e fasi della ricerca (elaborazione degli autori).

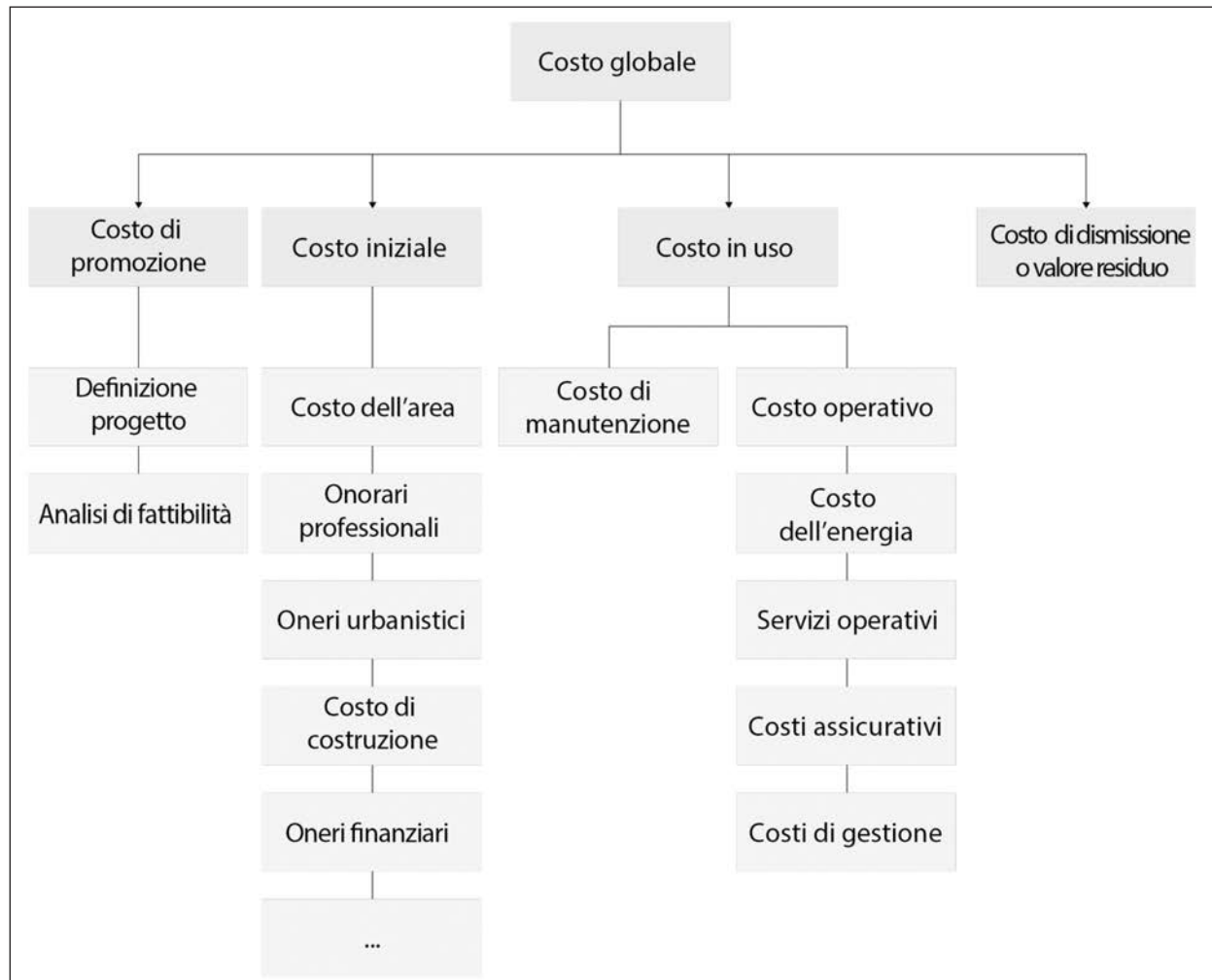


Figura 2. Costo globale e identificazione dei costi del ciclo di vita di progetto (elaborazione da Utica, 2011b).

3.2 Work Breakdown Structure (WBS)

La *Work Breakdown Structure* (WBS) è definita dal *Project Management Institute* (PMI) come “una struttura ad albero, composta da attività, che organizza, definisce e rappresenta graficamente l'intero lavoro necessario per raggiungere gli obiettivi del progetto.” (Institute Project Management, 2017). Questo strumento metodologico consente di scomporre un progetto complesso in unità di lavoro più semplici e gestibili, fornendo una base comune per la comunicazione, l'allocazione delle responsabilità e il monitoraggio di ambiti, costi e tempistiche, oltre a identificare le risorse operative per la realizzazione fisica del progetto. L'obiettivo della WBS è identificare tutte le componenti del progetto secondo uno schema gerarchico chiaro, consentendo una gestione efficace della sua complessità. La Figura 3 illustra la struttura tipica della WBS, che scompone il progetto nei suoi elementi costitutivi in modo organizzato e gerarchico. La WBS, basata su questa schematizzazione del progetto, permette di:

- rendere visibili tutte le entità del progetto, organizzate per livelli di dettaglio in modo razionale;
- definire relazioni e associazioni tra le diverse entità, attribuendo loro specifici parametri (semplici o complessi) in un sistema gerarchico strutturato;
- supportare lo sviluppo documentale del progetto attraverso un flusso informativo coordinato e privo di errori.

La WBS permette di scomporre il progetto in elementi sempre più semplici, fino al livello di dettaglio desiderato, considerando le diverse scelte progettuali.

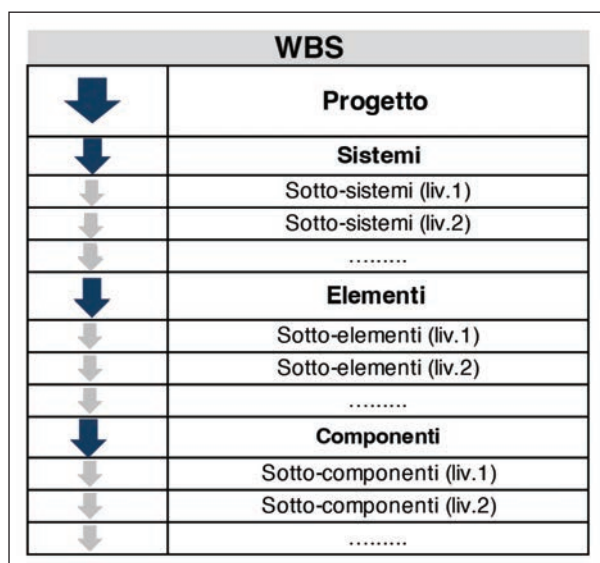


Figura 3. Struttura generale WBS (elaborazione da Utica, 2011a).

3.3 Sistemi di classificazione

La formulazione della WBS dovrebbe basarsi su piani di classificazione consolidati, come la UNI 8290 o il UNIFORMAT II al fine di seguire un percorso logico che organizzi i dati in modo coerente e gerarchico. Infatti, un piano di classificazione ben strutturato e la definizione di un efficace codice di comunicazione risultano indispensabili per la gestione e la stima del costo di costruzione dell'opera (Utica, 2011a). A tal fine, si rende necessario l'utilizzo di strumenti operativi capaci di identificare e organizzare i diversi livelli delle componenti del progetto.

A livello operativo, la classificazione può avvalersi di sistemi normati, tra cui (1) la norma UNI 8290 e (2) l'UNIFORMAT II. Tali sistemi forniscono riferimenti strutturati e consolidati per l'organizzazione delle informazioni progettuali. La Tabella 2 schematizza i tre livelli di classificazione proposti dalla norma UNI 8290 e dalla UNIFORMAT II.

Tabella 2. Sistemi di classificazione UNI 8290 e UNIFORMAT II con i relativi livelli di classificazione e terminologia (elaborazione degli autori)

	Livello 1	Livello 2	Livello 3
UNI 8290	Classi unità tecnologiche	Unità tecnologiche	Classi di elementi tecnici
UNIFORMAT II	<i>Major group elements</i>	<i>Group elements</i>	<i>Individual elements</i>

La norma UNI 8290, sviluppata dall'Ente Nazionale Italiano di Unificazione (UNI), fornisce un quadro normativo per la classificazione e la gestione dei costi legati alla costruzione e manutenzione degli edifici. Essa si applica a tutti i settori dell'edilizia, includendo sia le nuove costruzioni sia gli interventi di ristrutturazione e manutenzione. Il sistema edilizio, secondo la norma UNI 8290, è articolato in base a criteri funzionali che ne consentono la scomposizione in tre livelli gerarchici: (1) classi di unità tecnologiche, (2) unità tecnologiche e (3) classi di elementi tecnici (Tab. 2). Tale classificazione si basa sul riconoscimento delle diverse parti che compongono un edificio, organizzandole secondo il principio di appartenenza a specifiche apparecchiature costruttive.

Uno degli aspetti più rilevanti della norma è il suo contributo alla gestione della manutenzione degli edifici. Distinguendo tra manutenzione ordinaria e straordinaria, la UNI 8290 consente una pianificazione più efficiente degli interventi, ottimizzando l'uso delle risorse e garantendo un controllo più preciso dei costi nel corso del ciclo di vita dell'edificio.

Tuttavia, mentre la norma UNI 8290 rappresenta un valido strumento per la classificazione e la

gestione dei costi di manutenzione, risulta meno adatta per la stima dei costi di costruzione, poiché considera l'edificio come un'entità già completata e non include i processi transitori legati alla fase realizzativa, come l'allestimento del cantiere, i movimenti di terra e le demolizioni. In sintesi, la norma UNI 8290 costituisce un riferimento essenziale per la pianificazione, la gestione dei costi e la manutenzione degli edifici, offrendo maggiore efficienza, trasparenza e controllo lungo l'intero ciclo di vita di un progetto edilizio. Tuttavia, il suo impiego risulta limitato nella stima dei costi di costruzione, poiché non considera i processi preliminari e transitori, come l'allestimento del cantiere, i movimenti di terra e le demolizioni, elementi fondamentali per una valutazione economica completa.

La norma UNIFORMAT II, invece, è un sistema di classificazione internazionale per la gestione delle spese e delle attività nel settore edilizio, coprendo progettazione, costruzione e manutenzione (Charette & Marshall, 1999). Questa classificazione permette di organizzare un progetto in categorie e sotto-categorie di elementi strutturali, impiantistici e funzionali, facilitando la pianificazione e la stima dei costi lungo tutto il ciclo di vita dell'edificio.

Si basa su una struttura gerarchica a tre livelli, con un ulteriore livello di sotto-componenti, migliorando la gestione dei progetti complessi. Identifica due categorie principali:

- Sistema tecnologico (*Building Elements, item A-FF*), comprendente strutture portanti, impianti e finiture;
- Sistema ambientale (*Building Related Siteworks, item G*), relativo alle opere connesse al contesto dell'edificio.

Inoltre, l'UNIFORMAT II considera elementi transitori del progetto, come le condizioni ambientali, la logistica del cantiere e i lavori preparatori (scavi, demolizioni, rimozioni). Questo sistema favorisce stime economiche più accurate e riduce le incertezze nelle fasi iniziali del progetto, migliorando la comunicazione tra progettisti, costruttori e gestori attraverso una terminologia standardizzata. In sintesi, l'UNIFORMAT II si configura come uno strumento essenziale per l'organizzazione, la gestione dei costi e la manutenzione degli edifici, garantendo maggiore precisione nelle stime e nell'allocazione delle risorse.

4. Risultati

4.1 Definizione del modello WBS per la stima dei costi delle NBS

Come evidenziato dalla sezione precedente (Sezione 3.2), l'adozione del modello WBS consente di descrivere gli interventi nella loro complessità, identificando tutte le voci di lavoro e gli elementi che li caratterizzano. Questa sezione descrive il modello WBS definito per la stima dei costi delle NBS all'interno dei contesti urbani, identificandone le voci di costo considerate e illustrandone la struttura di base.

4.1.1 Voci di costo

Prima di procedere alla descrizione della struttura della WBS proposta per la stima dei costi degli interventi NBS, è necessario sottolineare quali sono le voci di costo che sono state prese in considerazione. Essendo le NBS interventi basati sull'implementazione di elementi naturali in ambienti costruiti e richiedenti programmati interventi di manutenzione e gestione, si è deciso di prendere in considerazione l'intero ciclo di vita della soluzione NBS. A tal proposito, però, si deve sottolineare che sono state effettuate alcune semplificazioni alla stima del valore di costo, in quanto alcune voci di costo non sono state considerate. Le NBS sono state considerate in questa applicazione come un intervento pubblico su spazio aperto, per cui sono state considerate le voci di:

- costo di costruzione;
- costo di manutenzione (ordinaria e straordinaria);
- costo di fine vita riferito al costo relativo alle operazioni di rimozione delle NBS.

Invece, sono state escluse le voci di costo riferite a (1) oneri professionali, (2) costo del terreno, (3) le tasse, (4) gli accantonamenti per spese impreviste, (5) il costo del debito, e (4) i costi operativi, considerati in questo caso nulli o trascurabili.

4.1.2 Struttura della WBS

L'obiettivo di questa ricerca è descrivere gli interventi NBS in tutte le loro componenti, classificandoli in modo gerarchico (*top-down*) per gestirne la complessità e stimarne i costi dell'intero ciclo di vita. A tal fine, il metodo WBS si rivela la struttura più idonea per rappresentare e organizzare queste informazioni.

Tuttavia, la norma UNI 8290 presenta limitazioni, in quanto non considera alcuni centri di costo, come le opere ambientali. Per questo motivo, si è reso necessario utilizzare come riferimento il sistema di classificazione internazionale UNIFORMAT II, che include il sistema ambientale (*Building Related Site Work, voce G*) e le opere propedeutiche al cantiere e agli spazi aperti. Questi elementi risultano fondamentali per una corretta descrizione delle NBS e delle loro componenti.

La Tabella 3 rappresenta la struttura generale della WBS proposta per la descrizione e stima dei costi delle NBS. Tale struttura si basa sulla classificazione definita da UNIFORMAT II. I primi tre livelli sono propriamente definiti dalla norma (Sezione 3.3). Il quarto livello, invece, è stato implementato come suggerito in letteratura in quanto ogni sotto-elemento corrisponde a una o più voci di lavoro che si possono trovare nei listini prezzi (Charette & Marshall, 1999; Utica, 2011b). La Tabella 4 riporta come esempio illustrativo la classificazione in quattro livelli dell'unità tecnologica "G10 preparazione del sito".

Tabella 3. Struttura generale della WBS proposta, basata sul sistema di classificazione UNIFORMAT II (elaborazione degli autori da Charette & Marshall, 1999)

Livello 1	Livello 2	Livello 3	Livello 4
Classi unità tecnologiche	Unità tecnologiche	Classi di elementi tecnici	Elementi tecnici

Tabella 4. Classificazione in quattro livelli dell'unità tecnologica G10 preparazione del sito (elaborazione da Charette & Marshall, 1999)

Livello 1 Classi di unità tecnologiche	Livello 2 Unità tecnologiche	Livello 3 Classi di elementi tecnologici	Livello 4 Sotto-elementi tecnologici
G - Opere di urbanizzazione	G10 - Preparazione del sito	G1010 - Pulizia del sito	G1011 - Disboscamento e rimozione vegetazione
			G1012 - Rimozione e diradamento alberi
		G1020 - Demolizione e rilocalizzazione del sito	G1021 - Demolizione edifici
			G1022 - Demolizione componenti del sito
			G1023 - Spostamento edifici e utenze
			G1024 - Spostamento utenze

Nello specifico, per la stima del costo di costruzione, è stata applicata rigorosamente la classificazione in quattro livelli. Per la stima del costo di manutenzione e di fine vita, invece, la struttura è stata adattata alle esigenze estimative (Tabella A1, Tabella A2, Tabella A3, Tabella A4 in Appendice).

I costi di manutenzione sono stati classificati in base alla frequenza degli interventi, distinguendo tra manutenzione ordinaria e straordinaria. Le principali voci di costo della manutenzione riguardano il taglio dell'erba, il reintegro del prato, l'innaffiatura iniziale degli alberi e la loro potatura ogni tre anni. Per la manutenzione straordinaria, prevista ogni 20 anni, è invece prevista la rimozione dello strato superficiale della NBS per garantire il mantenimento della capacità di filtraggio e drenaggio del sistema. Per quanto riguarda la fase di fine vita, data la limitata quantità di interventi necessari, è stato semplicemente redatto un elenco delle relative voci di lavoro.

4.2 Applicazione del modello WBS per la stima dei costi delle NBS per la gestione delle acque nel contesto urbano

Seguendo la struttura della WBS proposta (Tab. 3, Tab. 4), per la stima dei costi delle NBS è stato applicato il metodo analitico-deduttivo (indiretto)¹. Di seguito sono riportati i risultati ottenuti dall'applicazione della WBS proposta per la stima dei costi per le NBS selezionate, ovvero (1) pavimentazione drenante, (2) giardino della pioggia (*rain garden*), (3) *rain garden* con alberature, (4) alberature urbane. Nello specifico, per la stima dei costi di implementazione, manutenzione e fine vita, è stato utilizzato il Prezziario della Regione Lombardia 2024. Inoltre, i valori di costo stimati attraverso la WBS proposta sono stati confrontati con i valori medi parametrici reperibili in letteratura.

4.2.1 Pavimentazione drenante

La prima NBS analizzata è la pavimentazione drenante. Questo tipo di sistema può essere utilizzato in diversi contesti. Infatti, è possibile adottare queste soluzioni per realizzare superfici sia per uso pedonale sia veicolare. L'implementazione di queste soluzioni può supportare la rete fognaria nel drenaggio delle acque urbane, favorendo l'infiltrazione delle acque di prima pioggia, depurandole attraverso le radici e il terreno che trattano e degradano gli inquinanti. La stratigrafia (Fig. 4) assicura l'infiltrazione superficiale dell'acqua piovana nel terreno utilizzando elementi modulari, come blocchi di cemento o tappeti di plastica rinforzata, caratterizzati dalla presenza di vuoti o giunti riempiti con materiale inerte permeabile, come sabbia, ghiaia, o terreno vegetato, per garantire l'infiltrazione dell'acqua di deflusso e la depurazione (Bono et al., 2020).

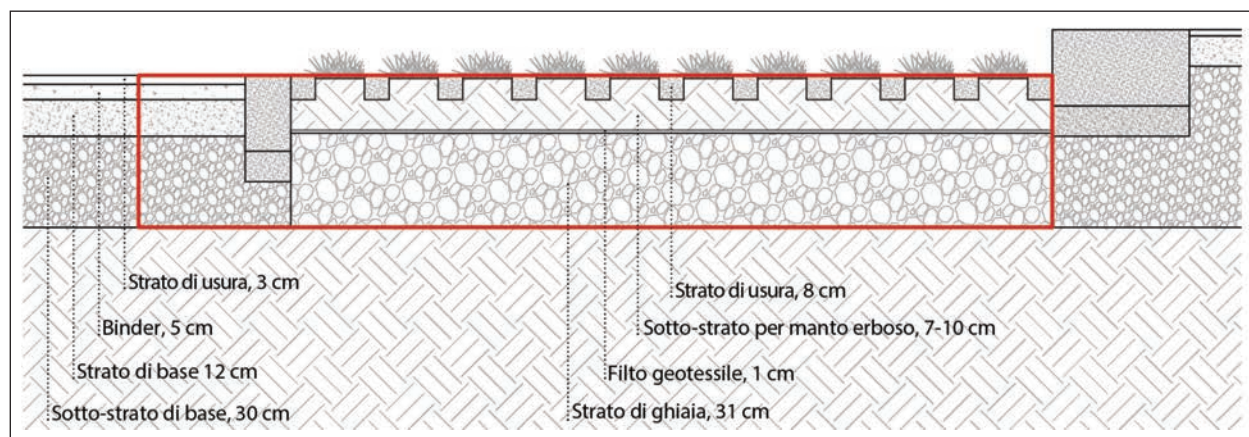


Figura 4. Stratigrafia della pavimentazione drenante (elaborazione da Bono et al., 2020).

¹ Il procedimento analitico-deduttivo presuppone un approccio sistemico all'opera di cui si sta stimando il costo di costruzione (Utica, 2011a). Infatti, l'opera viene analizzata come somma di parti e la formulazione del giudizio di stima del costo di costruzione si basa sull'analisi dettagliata del processo produttivo, identificandone le componenti convenzionali (voci di prezzo o voci di lavoro o lavorazioni). Tale procedimento si basa sul principio metodologico della scomposizione del progetto in diverse unità, rendendo possibile la compilazione di un piano di classificazione dettagliato in grado di rappresentare il cantiere virtuale e i caratteri delle lavorazioni necessarie al raggiungimento del risultato progettuale, prevedendo lo sviluppo di un documento che registra le quantità di progetto associate alle voci convenzionali di lavoro.

Il valore di costo di costruzione stimato attraverso l'applicazione della WBS proposta risulta pari a 141,63 €/m² (Tab. 5) Il costo della manutenzione ordinaria annuale è stimata pari a 0,98 €/m². Il costo stimato per la manutenzione straordinaria, programmata ogni vent'anni, è pari a 55,70 €/m². Invece, per quanto concerne il costo di fine ciclo vita (40 – 60 anni) della soluzione analizzata che corrisponde al costo di rimozione della soluzione stessa, esso è stato stimato pari a 24,86 €/m². I valori di costo stimati attraverso la WBS proposta sono stati confrontati con i valori di costo reperibili in letteratura, come illustrato in Tabella 5. Da tale confronto è possibile evidenziare che il costo di costruzione stimato attraverso la WBS è più alto rispetto ai valori reperiti in letteratura (Bonsignori & Senes, 2022; Liu et al., 2016). Tale differenza può essere dovuta al fatto che i valori di costo reperiti in letteratura sono stati stimati mediante il metodo sintetico, stimando il valore di costo attraverso il confronto di progetti simili e facendo una media di tali valori, con la possibilità di sottostimare il costo di alcune delle voci di costo identificate nella WBS (Tabella A1 in Appendice). Anche il costo di manutenzione straordinaria stimato con la WBS risulta essere più alto rispetto a quello medio reperito in letteratura e pari a 3,72 €/m². Invece, per quanto riguarda il costo di manutenzione ordinaria, questo si attesta in linea con la letteratura.

Tabella 5. Confronto costi stimati con WBS e costi reperiti in letteratura (elaborazione degli autori)

Fonte	NBS	Costo di costruzione		Costo di manutenzione		Costo di fine ciclo vita	U.M.
		Min.	Max.	Ordinaria	Straordinaria		
(Bonsignori & Senes, 2022)	Pavimentazione drenante	27,70	55,40	-	-	-	€ ₂₀₂₄ /m ²
(Nature for cities, 2018)	Pavimentazione drenante	21,15		1,18	3,72	-	€ ₂₀₂₄ /m ²
Costi stimati con metodo WBS	<i>Rain garden</i>	141,63		0,98	55,70	24,86	€ ₂₀₂₄ /m ²

4.2.2 Giardino della pioggia (*Rain garden*)

I giardini della pioggia o *rain garden* sono delle depressioni del terreno, progettate per raccogliere e drenare l'acqua piovana, che vi confluisce all'interno e viene depurata dall'azione della vegetazione, del suolo e dei microrganismi (Bonsignori & Senes, 2022). Tali sistemi intercettano la pioggia dalle superfici impermeabili circostanti e sono in grado di gestire una superficie da 5 a 15 volte la sua area, riducendo il volume e la velocità di deflusso (Bono et al., 2020). La Figura 5 rappresenta la stratigrafia della soluzione del *rain garden* (giardino della pioggia).

Il valore di costo di costruzione stimato è pari a 166,13 €/m² (il costo del sistema di drenaggio è stato stimato a parte in quanto non rappresenta una lavorazione obbligatoria, il cui costo è pari a 15,86 €/m²) (Tabella A2 in Appendice). Il valore di costo della manutenzione ordinaria annuale è stato stimato pari a 0,56 €/m² e il costo di fine ciclo vita che corrisponde al costo relativo alla rimozione dell'intero sistema (dopo 40-60 anni) è stato stimato pari a 27,47 €/m². Anche in questo caso, i valori di costo stimati mediante l'utilizzo della WBS sono stati confrontati con i dati presenti in letteratura (Tab. 6). Gli studi reperiti in letteratura riportano un costo di costruzione compreso tra i 99,72 €/m² e 166 €/m² e un costo di manutenzione ordinaria compreso tra gli 8 €/m² e 17 €/m² (Bonsignori et al., 2022).

Da tale confronto è possibile notare che il valore di costo di costruzione stimato rientra negli intervalli minimo e massimo indicati in letteratura. La differenza legata al costo di manutenzione è attribuibile alla scelta delle specie arboree utilizzate per la stima, considerando l'ampio *range* dei costi di manutenzione delle diverse tipologie.

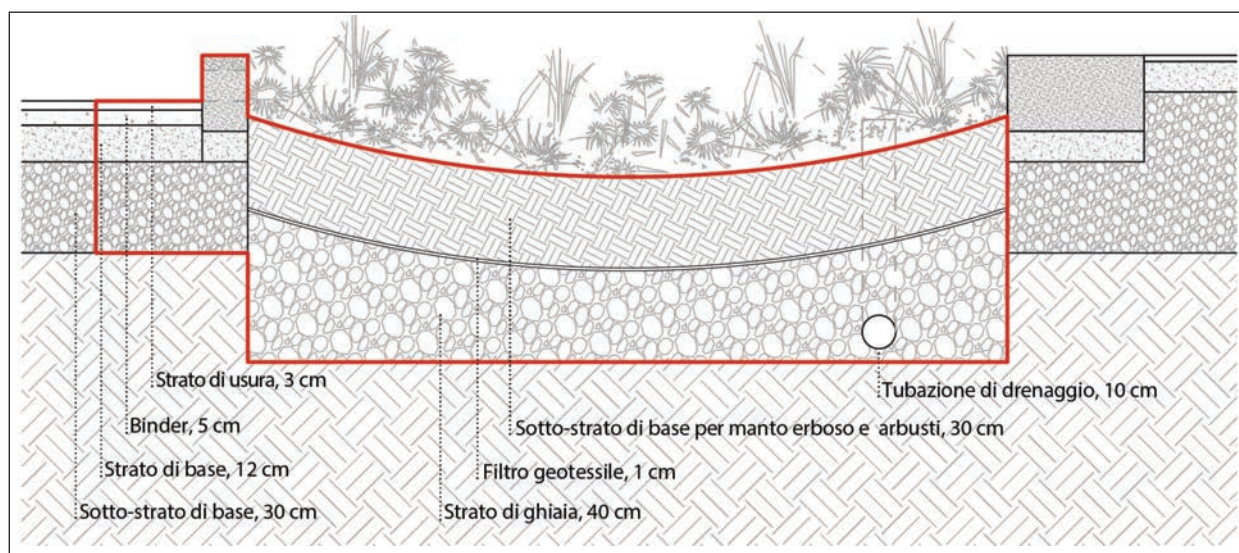


Figura 5. Stratigrafia del *rain garden* (elaborazione da Bono et al., 2020).

Tabella 6. Confronto costi stimati e costi reperiti in letteratura (elaborazione degli autori)

Fonte	NBS	Costo di costruzione		Costo di manutenzione		Costo di fine ciclo vita	U.M.
		Min.	Max.	Ordinaria	Straordinaria		
(Bonsignori & Senes, 2022)	<i>Rain garden</i>	99,72	166,20	7,98	16,62	-	€ ₂₀₂₄ /m ²
Costi stimati con metodo WBS	<i>Rain garden</i>	166,13		0,56	2,92	27,47	€ ₂₀₂₄ /m ²

4.2.3 *Rain garden con alberature*

La stratigrafia del *rain garden* con alberature è leggermente diversa rispetto a quella illustrata nel paragrafo precedente (Fig. 6). La sezione del *rain garden* con alberature presenta una profondità maggiore per garantire la crescita degli alberi. Inoltre, questa tipologia non include lo strato di drenaggio, in quanto questo strato limiterebbe lo sviluppo profondo delle radici, che verrebbero danneggiate dall'acqua stagnante a diretto contatto con esse.

Il valore costo di costruzione stimato per la soluzione *rain garden* è pari a 192,75 €/m² e il costo di implementazione delle alberature varia dai tra 87,34 €/cad. e i 436,52 €/cad., tale range di costi dipende delle dimensioni dell'alberatura (Tabella A3, Appendice A). Il valore di costo della manutenzione ordinaria del prato è stimato pari 0,56 €/m², per le alberature è stato stimato un costo di irrigazione, richiesta per i primi 3 anni, pari a 14,40 €/m² e un costo di potatura compreso tra i 28,79 €/cad. e i 138,07 €/cad., programmata ogni tre anni. Il costo di fine ciclo vita che corrisponde al costo di rimozione dell'intero sistema dopo 40-60 anni è stimato pari di 37,76 €/m², mentre la rimozione delle alberature ha un costo di 338,84 €/cad. In letteratura (Tab. 7), la piantumazione di un albero varia tra i 50 €/cad. e i 1500 €/cad., determinata dalla grande varietà specie arboree. Il costo di manutenzione, invece, è compreso in letteratura tra i 10 €/cad. e i 60 €/cad. (Morello et al., 2019; Nature for cities, 2018).

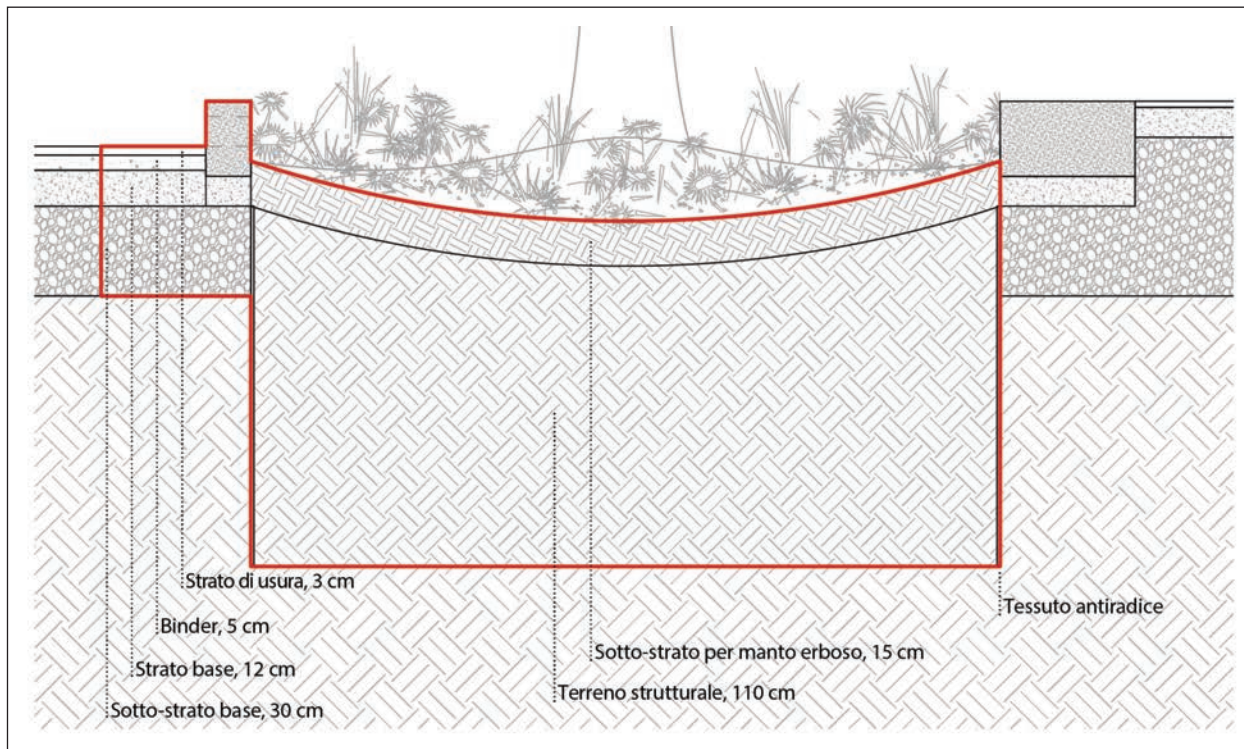


Figura 6. Stratigrafia *rain garden* con alberature (elaborazione da Bono et al., 2020)

Tabella 7. Confronto costi stimati e costi reperiti in letteratura (elaborazione degli autori)

Fonte	NBS	Costo di costruzione		Costo di manutenzione		Costo di fine ciclo vita	U.M.
		Min.	Max.	Ordinaria	Straordinaria		
(Morello et al., 2019)	Alberature	50,59	86,01	10,12	22,26	-	€ ₂₀₂₄ /cad.
(Nature for cities, 2018)	Alberature	200,00	1.500,00	25,00	60,00	-	€ ₂₀₂₄ /cad.
Costi stimati con metodo WBS	Alberature	87,34	436,52	Irrigazione (primi 3 anni)		338,84	€ ₂₀₂₄ /cad.
				14,40			
				Manutenzione (0-5 anni)			€ ₂₀₂₄ /cad.
				28,79			
				Manutenzione (6-15 anni)			€ ₂₀₂₄ /cad.
66,17							
Manutenzione (16-40 anni)		€ ₂₀₂₄ /cad.					
138,07							
	Rain garden	192,75	0,56	1,76	37,76	€ ₂₀₂₄ /cad.	

4.2.4 Alberature

Le alberature rappresentano le soluzioni NBS con il più alto grado di multifunzionalità, un aspetto che, da un lato ne esalta i benefici, dall'altro le rende soluzioni complesse da gestire. I vantaggi derivanti dalla presenza di alberature vanno oltre la regolazione delle acque meteoriche. Infatti, gli

alberi intercettano e trattengono l'acqua attraverso rami e foglie, la assorbono mediante il loro apparato radicale e successivamente la rilasciano nell'atmosfera. Inoltre, favoriscono l'infiltrazione nel terreno, offrono ombra, abbassano la temperatura dell'ambiente circostante grazie all'evapotraspirazione, trattengono sostanze inquinanti presenti nell'aria, producono ossigeno, arricchiscono il paesaggio e promuovono la biodiversità. Tuttavia, rispetto ad altre soluzioni NBS, l'adozione di alberature comporta anche alcune criticità, come il rischio legato alla crescita dimensionale degli alberi e gli elevati costi di manutenzione. Per garantire un equilibrio ottimale, si raccomanda di non superare un rapporto di 5 a 1 tra superficie impermeabile e area destinata alla vegetazione (Bonsignori & Senes, 2022). Gli alberi, solitamente piantati in filari, possono essere messi a dimora con diverse tecniche (Nature for cities, 2018), tra cui:

- l'impianto in un suolo costituito da un mix di aggregati e terreno per aumentarne la stabilità;
- l'impiego di sotto-strutture tridimensionali, generalmente in plastica o calcestruzzo armato, per sostenere la pavimentazione sovrastante, che possono essere riempite completamente con substrato;
- l'utilizzo di box in calcestruzzo, aperti o chiusi sul fondo, in grado di supportare il carico della pavimentazione e contenenti un substrato adatto alla crescita degli alberi (Bonsignori et al., 2022).

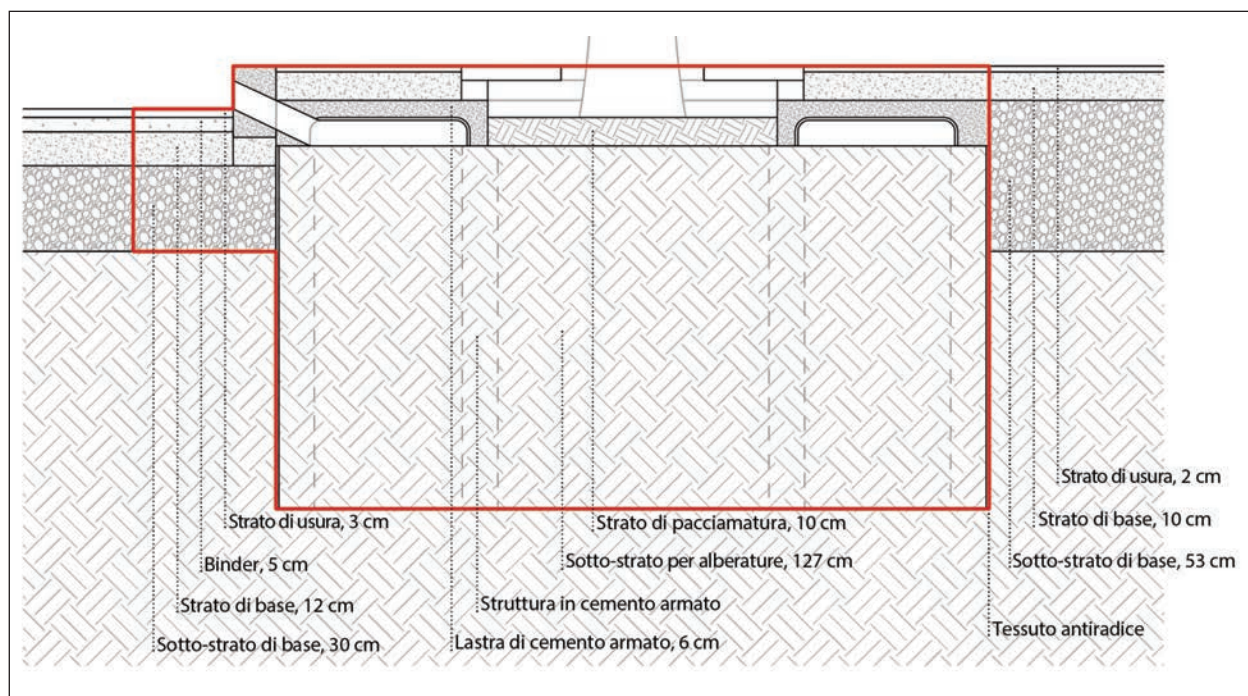


Figura 7. Stratigrafia alberature con sottostrutture di cemento (elaborazione da Bono et al., 2020).

Le alberature possono essere integrate con altre soluzioni NBS, come i giardini della pioggia, al fine di ridurre il deflusso delle acque piovane e ottimizzarne la gestione (Nature for cities, 2018). In questo caso sono analizzate le alberature con sottostrutture di cemento armato (Fig. 7).

Il valore di costo di costruzione stimato è più alto rispetto alle precedenti soluzioni analizzate. Tale aumento nel costo di costruzione è dovuto alla struttura in cemento sottostante, alla superficie della pavimentazione e alla griglia posta per proteggere la base dell'albero (Fig. 7). Il valore di costo di costruzione stimato costo è pari a 391,18 €/m² per il sistema e di 438,45 €/cad. (Tabella A4 in Appendice A). Il costo di manutenzione dei primi tre anni è stimato pari a 14,40 €/albero. Il costo di ciclo vita, invece, si compone del costo di rimozione del sistema dopo 40-60 anni, stimato pari a 73,73 €/m² e di un costo di rimozione di 310,41 €/cad. per albero. In letteratura non sono presenti molti dati di confronto rispetto a questa soluzione (Tab. 8). Viene indicato un valore di costo di costruzione del sistema compreso tra i 100€/m² e il 166 €/m². Per il costo di manutenzione, invece, viene riportato

lo stesso costo della soluzione del *rain garden*. Il valore di costo stimato tramite la WBS proposta è in linea con il prezzo proposto dalla «Pontarolo Engineering Spa», che propone un prezzo di 316,70 €/m² per la soluzione di sottostrutture in cemento per l'implementazione di alberature.

Tabella 8. Confronto costi stimati e costi reperiti in letteratura (elaborazione degli autori)

Fonte	NBS	Costo di costruzione		Costo di manutenzione		Costo di fine ciclo vita	U.M.
		Min.	Max.	Ordinaria	Straordinaria		
(Bonsignori et al., 2022)	Sottostrutture di cemento	100	166	7,98	16,62	-	€ ₂₀₂₄ /cad.
Pontarolo E. Spa	Sottostrutture di cemento	316,70		-	-	-	€ ₂₀₂₄ /cad.
	Sottostrutture di cemento	391,18		0,56	1,76	73,73	€ ₂₀₂₄ /cad.
Costi stimati con metodo WBS	Alberature	438,45	Irrigazione (primi 3 anni)				€ ₂₀₂₄ /cad.
					14,40		
			Manutenzione (0-5 anni)				€ ₂₀₂₄ /cad.
					28,79		310,41
			Manutenzione (6-15 anni)				€ ₂₀₂₄ /cad.
		66,17					
Manutenzione (16-40 anni)				€ ₂₀₂₄ /cad.			
		138,07					

5. Discussione e conclusioni

Gli interventi NBS sono riconosciuti come soluzioni efficaci per la mitigazione e l'adattamento ai cambiamenti climatici in ambito urbano (Carter et al., 2021; Olivieri et al., 2024). Tuttavia, la loro implementazione operativa rimane limitata, a causa di un'inadeguata formazione e informazione sull'applicazione di queste strategie e sui loro benefici (Netti et al., 2024; Vollaers et al., 2021), a cui si aggiunge la mancanza di strumenti adeguati per la stima e la gestione dei costi lungo l'intero ciclo di vita di queste soluzioni (European Commission, 2020; Sowińska-Świerkosz & García, 2022). La ricerca che si fonda sulla domanda di ricerca Q_1 si propone di colmare la carenza di strumenti specifici per la stima dei costi lungo il ciclo di vita delle NBS, tenendo conto della loro natura ecologica e delle caratteristiche del contesto di applicazione. Il risultato della ricerca consiste in un modello WBS basato sul sistema di classificazione UNIFORMAT II, che consente di analizzare le opere esterne attraverso tre livelli gerarchici, con l'aggiunta di un quarto livello dedicato ai sotto-componenti. Questo ulteriore livello facilita la stima dettagliata dei costi delle diverse lavorazioni. In questa prima fase della ricerca, il modello proposto è stato applicato per la stima dei costi delle NBS per la gestione delle acque nei contesti urbani. Questa prima applicazione del modello WBS proposto ha permesso di evidenziarne i maggiori punti di forza e alcune difficoltà di implementazione. In primo luogo, questa applicazione ha dimostrato l'efficacia della WBS così strutturata nel rappresentare le NBS in modo gerarchico e strutturato, scomponendole nelle loro componenti essenziali. Questo approccio semplifica la gestione della complessità e migliora la chiarezza nella valutazione dei costi. Inoltre, la struttura gerarchica della WBS si adatta alle specificità del contesto, garantendo maggiore flessibilità nella pianificazione e nell'implementazione degli interventi. Uno degli aspetti più rilevanti della WBS è la sua natura modulare e adattabile, che la rende una struttura di riferimento generale applicabile a diversi progetti. Grazie a questa caratteristica, gli elementi possono essere aggiunti o rimossi in base alle esigenze

specifiche di ciascun intervento, rendendola uno strumento versatile e applicabile a differenti contesti urbani. Inoltre, la sua adozione fornisce un quadro chiaro e standardizzato, migliorando la comunicazione tra i diversi attori coinvolti nel processo decisionale. La ricerca ha inoltre sottolineato l'importanza della stima dei costi lungo l'intero ciclo di vita delle NBS per garantirne un'implementazione e una gestione sostenibile. Considerare non solo i costi di costruzione, ma anche quelli di manutenzione e fine vita, è essenziale per valutare correttamente l'impatto economico e la sostenibilità a lungo termine di queste soluzioni. Infatti, un elemento di innovazione di questa applicazione è la stima dei costi di fine vita, un aspetto spesso trascurato in letteratura, ma fondamentale per una gestione efficace delle risorse (Sezione 2.3). Allo stesso tempo, però, tale applicazione ha messo in luce la difficoltà di reperire stratigrafie delle NBS dettagliate e consolidate per lo sviluppo della WBS.

In conclusione, il modello proposto rappresenta un significativo contributo alla valutazione economica delle NBS, offrendo un metodo replicabile e standardizzato per la stima dei costi del ciclo di vita e per l'individuazione dei soggetti sui quali i costi così determinati ricadono. La WBS si configura, quindi, come un valido strumento di alla progettazione e gestione delle soluzioni basate sulla natura, favorendo l'adozione di strategie più sostenibili per l'adattamento urbano ai cambiamenti climatici (Del Giudice et al., 2014; Stanganelli et al., 2021). Per quanto concerne i futuri campi di applicazione delle schede WBS proposte, la ricerca si propone di sviluppare un prezziario delle NBS in ambito urbano per dare indicazioni operative e supportare pubbliche amministrazioni e privati nella progettazione e gestione di queste soluzioni, fornendo adeguate informazioni sui costi del ciclo di vita di queste soluzioni.

Contributo degli autori

Concettualizzazione: G.D, A.G, A.O; Metodologia: G.D, A.G, A.O; Raccolta dati: A.G; Analisi formale: G.D; A.G; Redazione originale: G.D, A.G; Revisione e editing: G.D; M.D; A.O; Supervisione: M.D; A.O.

Bibliografia

- Aiona A., Coker A., Dunlap I., Simpson A. & Stevens H. (2020). City of Portland 2020 Stormwater Management Manual. December, 458. <https://www.portland.gov/bes/stormwater/swmm#toc-the-2020-stormwater-management-manual>
- Bauduceau N., Berry P., Cecchi C., Elmqvist T., Fernandez M., Hartig T., Krull W., Mayerhofer E., Sandra N. & Noring, L. (2015). Towards an EU research and innovation policy agenda for nature-based solutions & re-naturing cities: Final report of the horizon 2020 expert group on 'nature-based solutions and re-naturing cities'.
- Bono L., Callerio M., Conte G., Rizzo A. & Sejdullahu I. (2020). Soluzioni Naturalistiche (Nbs) Per La Città Metropolitana Di Milano. www.lifemetroadapt.eu
- Bonsignori R. & Senes G. (2022). Soluzioni progettuali tipo di infrastrutture verdi per la gestione delle acque meteoriche. <https://www.ilverdeeditoriale.com/PubFree/SuDS/SuDS.pdf>
- Carter T.R., Benzie M., Campiglio E., Carlsen, H., Fronzek S., Hildén M., Reyer C.P.O. & West C. (2021). A conceptual framework for cross-border impacts of climate change. *Global Environmental Change*, 69, 102307. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2021.102307>
- Castellar J.A.C., Popartan L.A., Pueyo-Ros J., Atanasova N., Langergraber G., Säumel I., Corominas L., Comas J. & Acuña V. (2021). Nature-based solutions in the urban context: terminology, classification and scoring for urban challenges and ecosystem services. *Science of The Total Environment*, 779, 146237. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.146237>
- Charette R.P. & Marshall H.E. (1999). UNIFORMAT II Elemental Classification for Building Specifications, Cost Estimating, and Cost Analysis, NISTIR 6389, Gaithersburg, MD: National Institute of Standards and Technology (p. 109). <http://www.uniformat.com/support-files/nistir-6389.pdf%5Cnhttp://fire.nist.gov/bfrlpubs/build99/PDF/b99080.pdf>
- Cohen-Shacham E., Andrade A., Dalton J., Dudley N., Jones M., Kumar C., Maginnis, S., Maynard, S., Nelson C.R., Renaud F.G., Welling R. & Walters G. (2019). Core principles for successfully implementing and upscaling Nature-based Solutions. *Environmental Science & Policy*, 98(May), 20–29. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2019.04.014>

- Davies C., Chen W.Y., Sanesi G. & Laforteza R. (2021). The European Union roadmap for implementing nature-based solutions: A review. *Environmental Science & Policy*, 121(April), 49–67. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2021.03.018>
- Del Giudice V., Passeri A., Torrieri F. & De Paola P. (2014). Risk Analysis within Feasibility Studies: An Application to Cost-Benefit Analysis for the Construction of a New Road. *Applied Mechanics and Materials*, 651–653, 1249–1254. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMM.651-653.1249>
- Dumitru A., Wendling L., Eiter S. & Pilla F. (2021). Evaluating the Impact of Nature-based Solutions: A Handbook for Practitioners. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.10757.47843>
- European Commission. (2020). Nature-based solutions : state of the art in EU-funded projects (T. Freitas, S. Vandewoestijne & T. Wild (eds.)). Publications Office of the European Union. <https://doi.org/doi/10.2777/236007>
- Faivre N., Fritz M., Freitas T., de Boissezon B. & Vandewoestijne S. (2017). Nature-Based Solutions in the EU: Innovating with nature to address social, economic and environmental challenges. *Environmental Research*, 159, 509–518. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2017.08.032>
- Ferrans P., Torres M.N., Temprano J. & Rodríguez Sánchez J.P. (2022). Sustainable Urban Drainage System (SUDS) modeling supporting decision-making: A systematic quantitative review. *Science of The Total Environment*, 806, 150447. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.150447>
- Fletcher T.D., Shuster W., Hunt W.F., Ashley R., Butler D., Arthur S., Trowsdale S., Barraud S., Semadeni-Davies A., Bertrand-Krajewski J.-L., Mikkelsen P.S., Rivard G., Uhl M., Dagenais D. & Viklander M. (2015). SUDS, LID, BMPs, WSUD and more – The evolution and application of terminology surrounding urban drainage. *Urban Water Journal*, 12(7), 525–542. <https://doi.org/10.1080/1573062X.2014.916314>
- Forte C. (1973). *Elementi di estimo urbano*. Etas Kompass. <https://books.google.it/books?id=74kPngEACAAJ>
- Gaona Currea J.A., Larrinaga López J., León Sarmiento J., Ortega Minakata A.T., Gorrotxategi Carbajo J., Soto Trujillo C., Camacho Otero J. & Ortiz de Urbina I. (2024). Ecohydrological Nature based-Solutions for Sustainable Cities: A Case Study based on Water Security and Modeling. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1363(1), 012076. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1363/1/012076>
- Institute Project Management. (2017). *Guide to the Project Management Body of Knowledge (PMBOK®Guide)—Sixth Edition*. Project Management Institute. <https://books.google.it/books?id=Rzc2DwAAQBAJ>
- International Union for Conservation of Nature. (2020). IUCN Global Standard for Nature-based Solutions: a user-friendly framework for the verification, design and scaling up of NbS : first edition (Arabic version). In *Global Standard for Nature-based Solutions: a user-friendly framework for the verification, design and scaling up of NbS*: IUCN, International Union for Conservation of Nature. <https://doi.org/10.2305/VCDL1542>
- Kellagher R., Martin P., Jefferies C., Bray R., Shaffer P., Wallingfor H.R., Woods-Ballard B., Woods Ballard B., Construction Industry Research and Information Association, Great Britain, Department of Trade and Industry & Environment Agency. (2015). *The SUDS Manual*. In Woods Ballard, B. Wilson, S. Udale-Clarke, H. Illman, S. Scott, T. Ashley, R. Kellagher, R. <http://www.persona.uk.com/A47postwick/deposit-docs/DD-181.pdf>
- Le Coent P., Graveline N., Altamirano M.A., Arfaoui N., Benitez-Avila C., Biffin T., Calatrava J., Dartee K., Douai A., Gnonlonfin A., Hérviaux C., Marchal R., Moncoulon D. & 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(June), 100002. <https://doi.org/10.1016/j.nbsj.2021.100002>
- Liu W., Chen W., Feng Q., Peng C. & Kang P. (2016). Cost-Benefit Analysis of Green Infrastructures on Community Stormwater Reduction and Utilization: A Case of Beijing, China. *Environmental Management*, 58(6), 1015–1026. <https://doi.org/10.1007/s00267-016-0765-4>
- Maes J., Teller A., Erhard M., Condé S., Vallecillo S., Barredo J., Paracchini M., Abdul Malak D., Trombetti M., Vigiak O., Zulian G., Addamo A., Grizzetti B., Somma F., Hagyo A., Vogt P., Polce C., Jones A., Marin A., ... Santos-Martín F. (2020). Mapping and assessment of ecosystems and their services : an EU wide ecosystem assessment in support of the EU biodiversity strategy : supplement (indicator fact sheets). Publications Office. <https://doi.org/doi/10.2760/519233>
- Masiero M., Biasin A., Amato G., Malaggi F., Pettenella D., Nastasio P. & Anelli S. (2022). Urban Forests and Green Areas as Nature-Based Solutions for Brownfield Redevelopment: A Case Study from Brescia

- Municipal Area (Italy). *Forests*, 13(3), 444. <https://doi.org/10.3390/f13030444>
- Morello E., Mahmoud I. & Colaninno N. (2019). Catalogue of Nature-Based Solutions for Urban Regeneration Pre-Final Report. September, 107.
- Nature for cities. (2018). NBS multi-scalar and multi-thematic typology and associated database (Issue 730468). <https://ec.europa.eu/research/participants/documents/downloadPublic?documentIds=080166e5bff18eb7&appId=PPGMS>
- Netti A.M., Abdelwahab O.M.M., Datola G., Ricci G.F., Damiani P., Oppio A. & Gentile F. (2024). Assessment of nature-based solutions for water resource management in agricultural environments: a stakeholders' perspective in Southern Italy. *Scientific Reports*, 14(1), 24668. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-76346-5>
- Olivieri F., Sassenou L.-N. & Olivieri L. (2024). Potential of Nature-Based Solutions to Diminish Urban Heat Island Effects and Improve Outdoor Thermal Comfort in Summer: Case Study of Matadero Madrid. *Sustainability*, 16(7), 2778. <https://doi.org/10.3390/su16072778>
- Pontarolo Engineering. (2024, May 27). Pontarolo Engineering Soluzioni <https://pontarolo.com/soluzioni/>
- Raymond C., Breil M., Nita M., Kabisch N., de Bel M., Enzi V., Frantzeskaki N., Geneletti G., Lovinger L., Cardinaletti M., Basnou C., Monteiro A., Robrecht H., Sgrigna G., Muhari L., Calfapietra C. & Berry P. (2017). An impact evaluation framework to support planning and evaluation of nature-based solutions projects. Report prepared by the EKLIPSE Expert Working Group on Nature-based Solutions to Promote Climate Resilience in Urban Areas. Centre for Ecology and Hydrology.
- 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(June 2019), 126579. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2019.126579>
- Sirishantha U. & Rathnayake U. (2017). Sustainable urban drainage systems (SUDS) – What it is and where do we stand today? *Engineering and Applied Science Research*, 44, 235–241. <https://doi.org/10.14456/easr.2017.36>
- Sistema Nazionale per la Protezione Dell'Ambiente. (2024). Consumo di suolo, dinamiche territoriale e servizi ecosistemici (Vol. 15, Issue 1).
- Somaris G., Stagakis S. & Chrysoulakis N. (2020). ThinkNature Nature-Based Solutions Handbook. ThinkNature project Funded by the EU Horizon 2020 Research Innovation Programme (Issue 730338).
- Sowińska-Świerkosz B. & García J. (2021). A new evaluation framework for nature-based solutions (NBS) projects based on the application of performance questions and indicators approach. *Science of The Total Environment*, 787, 147615. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.147615>
- Sowińska-Świerkosz B. & García J. (2022). What are Nature-based solutions (NBS)? Setting core ideas for concept clarification. *Nature-Based Solutions*, 2(January), 100009. <https://doi.org/10.1016/j.nbsj.2022.100009>
- Stanganelli M., Torrieri F., Gerundo C. & Rossitti M. (2021). A Strategic Performance-Based Planning Methodology to Promote the Regeneration of Fragile Territories. In *Lecture Notes in Civil Engineering* (Vol. 146, pp. 149–157). Springer Science and Business Media Deutschland GmbH. https://doi.org/10.1007/978-3-030-68824-0_16
- Utica G. (2011a). La stima sintetica del costo di costruzione. Il computo metrico e il coputo metrico estimativo per classi di elementi tecnici. Maggioli.
- Utica G. (2011b). *Tecniche avanzate di analisi e gestione dei progetti*. McGraw-Hill Companies. <https://books.google.it/books?id=Vi08YgEACAAJ>
- Vollaers, V., Nieuwenhuis E., van de Ven F. & Langeveld J. (2021). Root causes of failures in sustainable urban drainage systems (SUDS): an exploratory study in 11 municipalities in The Netherlands. *Blue-Green Systems*, 3(1), 31–48. <https://doi.org/10.2166/bgs.2021.002>
- Wickenberg B., McCormick K. & Olsson J.A. (2021). Advancing the implementation of nature-based solutions in cities: A review of frameworks. *Environmental Science & Policy*, 125, 44–53. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.envsci.2021.08.016>
- World Bank. (2021). A Catalogue of Nature-Based Solutions for Urban Resilience. In *A Catalogue of Nature-Based Solutions for Urban Resilience*. <https://doi.org/10.1596/36507>
- Zeleňáková M., Diaconu D.C. & Haarstad K. (2017). Urban Water Retention Measures. *Procedia Engineering*, 190, 419–426. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.05.358>

Tabella A3. WBS per *raingarden* con alberature

Livello 1 Classi di unità tecnologiche		Livello 2 Unità tecnologiche		Livello 3 Classi di elementi tecnologici		Livello 4 Sotto-elementi tecnologici	
ID	Nome	Unità	Costo	ID	Nome	Unità	Costo
G	Linee di cantiere: Giardino della pioggia	1 m ²	195,72 €	G10	Preparazione dei luoghi	1 m ²	48,47 €
+				G1000	Demolizione e approntamento dei luoghi <i>Nota: Si considera una lunghezza del giardino planitale di 2,5 m, quindi, per 2,5 m² di giardino planitale, è necessario un ripascimento stradale di 0,5 m².</i>	1 m ²	24,37 €
	Alberi di medie dimensioni	1 ea	254,03 €	G1020	Movimenti terra Movimenti terra <i>Nota: Si considera una lunghezza del giardino planitale di 2,5 m, quindi, per 2,5 m² di giardino planitale, è necessario un ripascimento stradale di 0,5 m².</i>	1 m ²	24,30 €
+				G200	Miglioramenti del luogo Miglioramenti del luogo <i>Nota: Si considera una lunghezza del giardino planitale di 2,5 m, quindi, per 2,5 m² di giardino planitale, è necessario un ripascimento stradale di 0,5 m².</i>	1 m ²	147,25 €
	Manutenzione stradale	1 m ²	17,62 €				
	<i>Nota: una lunghezza di 30 cm sul bordo del giardino planitale è già inclusa nella voce precedente.</i>						
	<i>Le linee dipinte sono trascurate</i>						
+	Opere necessarie all'avvicinamento del cantiere	1 cad	262,67 €				
				G2010	Percorsi canali <i>Nota: Le linee sono escluse</i>	1 m ²	85,04 €
				G2011	Fondo stradale	1 m ²	71,49 €
				G2012	Opere provvisorie	1 m	18,66 €
				G2013	Palmettazioni stradali	1 m ²	13,55 €
				G2014	Segreggiatura stradale orizzontale dipinta	1 m ²	6,57 €
				G2020	Pavescaggio Pavescaggio <i>Nota: Si considera una lunghezza del giardino planitale di 2,5 m, quindi, per 2,5 m² di giardino planitale, è necessario un ripascimento stradale di 0,5 m².</i>	1 m ²	130,24 €
				G2021	Sudde-imbudipanturabone <i>Nota: Si considera una sezione di 15 cm per il manico erboso e un diametro di 100 cm per gli alberi. È richiesto, inoltre, un tassato antiscivolo lungo i bordi verticali dell'intervento di 1,2m.</i>	1 m ²	119,57 €
				G2022	Semina Semina	1 m ²	0,77 €
				G2023	Piantumazione	1 ea	254,03 €
				G2024	Condolo	1 m	24,79 €

Tabella A4. WBS per alberature

Livello 1 Classi di unità tecnologiche		Livello 2 Unità tecnologiche		Livello 3 Classi di elementi tecnologici		Livello 4 Sotto-elementi tecnologici					
ID	Nome	Unità	Costo	ID	Nome	Unità	Costo				
G	Lavori di cantiere: Viale alberato	1 m ²	391,18 €	G10	Preparazione dei luoghi	1 m ²	55,37 €	G1011	Demolizione di componenti Demolizione di componenti	1 m ²	20,14 €
	+								Nota: Si considera demolizione dello strato di marciapiede stradale profondo 30 cm.		
	Alberi	1 cad	600,84 €						Rimozione cordolata	1 m	17,26 €
	Nota: Sono state sottratte le porzioni di 1 m ² di pavimentazione non necessarie o assenti dalla presenza dell'albero			G1020	Movimento terra Movimenti terra	1 m ²	24,30 €	G1021	Scavi	1 m ²	16,84 €
	+				Nota: Si considera un'area di 2,5 m, quindi per 2,5 m ² di progetto, è necessario un'operazione temporanea di 1 m per ogni lato.				Nota: Si considera uno scavo di 90 cm		
	Manutenzione stradale	1 m ²	17,62 €					G1022	Opere provvisorie	1 m	18,66 €
	Nota: Una larghezza di 50 cm al bordo del progetto è già inclusa nel primo elemento. Le linee dipinte sono tracciate.			G20	Miglioramenti del luogo	1 m ²	335,81 €		Nota: È richiesta una recinzione temporanea di 1 m per ogni lato del cantiere, pertanto la dimensione è riferita a 7 m di cantiere		
	+							G2011	Fondo stradale	1 m ²	85,26 €
	Manutenzione marciapiede	1 m ²	16,15 €						Nota: E' considerato uno strato di base di 50 cm		
	+							G2012	Pavimentazioni stabili	1 m ²	13,55 €
	Opera necessaria all'avvio del cantiere	1 cad	262,87 €					G2013	Segnaletica stradale orizzontale dipinta	1 m ²	6,57 €
								G2021	Pavimentazione	1 m ²	37,28 €
									Nota: Si considera un sotto-strato di base di 10 cm		
								G2022	Cordoli	1 m	33,69 €
								G2031	Suoleletti di piantumazione	1 m ²	132,79 €
									Nota: Si considera un sotto-strato per alberi di 1,27 m, inoltre, è richiesto un spazio analitico e largo i bordi verticali dell'intervento di 1,27 m.		
									+		
									Alberi	1 cad	792,73 €
									Nota: Per ogni albero è necessario uno strato di pacciamatura di 1,13 m ²		
									Strato di pacciamatura	1 m ²	14,39 €
								G2033	Piantumazione	1 cad	254,02 €
								G2046	Altre opere di paesaggio	1 m ²	132,53 €
									Nota: Si considera un ramatura in acciaio da 110 kg per 1 m ² di calcestruzzo e uno strato di calcestruzzo di 6 cm		
									+		
									Griglia	1 cad	522,45 €

DEI PLUS PREMIUM

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

DEI PREMIUM PLUS

Una banca dati, mille servizi

La banca dati dei prezzi DEI aggiornata mensilmente

Cosa ti offre **DEIPLUS PREMIUM**:

1



Tutte le voci dei **PREZZARI DEI** dal 2018 (più di 88.000)

2



Tutte le voci dei **PREZZARI REGIONALI** dal 2023

3



Normativa tecnica indispensabile al progettista.

Più di 17.000 provvedimenti ricercabili per testo, per classificazione e per estremi (tipologia, numero, data)

4



Schede merceologiche: per ogni voce di materiale è presente la relativa scheda tecnica delle varie aziende produttrici

5



Biblioteca digitale: più di 100 volumi sfogliabili del mondo dell'edilizia. Ambiente e bioedilizia, Capitolati, Codici, Consolidamento e restauro, Geotecnica, Progettazione, Sicurezza e tanti altri argomenti

Più di 34.000 pagine per un valore di 4.500 € in libri

6



18 Check-list: listini precompilati con tutte le voci necessarie per i lavori più frequenti tra cui rifacimento bagno, rifacimento facciata, impianto fotovoltaico, impianto riscaldamento condominio, villino tipo

7



METRICODEI: il software per creare il computo metrico, completamente integrato con la banca dati DEIPLUS PREMIUM