

Assessment of ecosystem service benefits using benefit transfer in Valladolid, Izmir, and Liverpool: Evidence from the Horizon Urban GreenUP project

Edoardo Croci¹, Benedetta Lucchitta^{1,*}

¹ Università Bocconi, Centre for Research on Geography, Resources, Environment, Energy & Networks Via Röntgen n. 1, 20136 Milan, Italy; edoardo.croci@unibocconi.it; benedetta.lucchitta@unibocconi.it

* corresponding author

Keywords

Nature-Based Solutions; ecosystem services; economic valuation; benefit transfer; natural capital; urban planning

Abstract

The implementation of Nature-Based Solutions (NBS) in urban areas represents a key strategy to strengthen and protect ecosystems and the benefits they provide. This study applies the benefit transfer (BT) method to estimate the Total Economic Value (TEV) of the ecosystem services (ES) delivered by NBS implemented in Valladolid, Liverpool, and Izmir within the framework of the Horizon Europe URBAN GreenUP project. Through a systematic literature review, 75 primary studies were selected, from which monetary values referring to 16 different types of ES were derived and standardized. Results indicate that the annual economic benefits of NBS range between €325,236 and €2,450,863 in Valladolid, €75,162 and €2,132,456 in Liverpool, and €1,147,569 and €3,705,663 in Izmir, with median values of €1,388,050, €1,103,809, and €2,426,616, respectively. In all cities, regulating services (carbon sequestration, air quality improvement, climate regulation) represent the predominant component of the estimated value, while cultural services display greater variability. The study confirms the feasibility of the BT approach for the economic valuation of NBS in urban contexts, while highlighting the need to develop harmonized assessment protocols and expand the empirical evidence for ES categories that remain underrepresented.

1. Introduction

The implementation of nature-based solutions (NBS) is essential to reinforce the functioning of ecosystems across scales, from the global to the local level. In cities, NBS operationalise the concept of ecosystem services (ES), defined as the final outputs of ecosystem structures and processes that directly or indirectly sustain human well-being (Braat & de Groot, 2012; Culhane et al., 2019; Almenar et al., 2021). ES are commonly classified into four main categories: provisioning, regulating, cultural, and supporting services. At the urban scale, these categories play a particularly strategic role. Provisioning services are often limited but can include urban agriculture and orchards that contribute to food security and local resource provision. Regulating services are central, as NBS in

cities—such as trees, parks, wetlands, and green roofs—contribute to carbon sequestration, air purification, flood mitigation, and local climate regulation, thereby addressing pressing environmental challenges. Cultural services are especially relevant in urban areas, where green spaces provide opportunities for recreation, mental and physical health improvement, and the strengthening of social cohesion, all of which are increasingly recognised as critical to urban resilience and liveability (Simpson, 1998; Camps-Calvet et al., 2016; Majidi et al., 2019). Supporting services, though less visible, are essential for maintaining biodiversity and ecological functions in urban ecosystems, ensuring the sustainability of the benefits provided.

Understanding the economic value of ES at the urban scale is therefore crucial for designing effective policies that preserve and enhance natural capital in line with sustainability objectives. Integrating the valuation of ES into urban planning enables decision-makers, practitioners and other stakeholders, to better capture the multifunctionality of NBS and to account for benefits that are otherwise overlooked in conventional economic assessments (Dasgupta, 2021). The monetary valuation of ES is complicated by their non-excludable and non-rival nature, which prevents their inclusion in conventional markets and economic accounting systems. To address this, several international initiatives have been developed, all of which emphasise the need for comprehensive and plural valuation approaches. Within this landscape, The Economics of Ecosystems and Biodiversity (TEEB) initiative (Sukhdev et al., 2010) has promoted the use of the Total Economic Value (TEV) framework, which has become the most widely applied structure for monetary ES valuation. TEV is defined as the sum of all present and future values of service flows generated by natural capital, appropriately discounted (Muradian et al., 2010). It distinguishes between use values, derived from direct or indirect utilisation of ES, and non-use values, associated with intangible benefits not linked to exploitation. This framework enables the consideration of both market and non-market components of natural capital, including the “hidden” values not reflected in traditional accounts (Pascual et al., 2010; Pandeya et al., 2016). The methodologies commonly employed within the TEV framework include direct market valuation, revealed preferences, and stated preferences. While the first approach relies on observable market transactions, revealed preference methods infer values from related markets, and stated preference methods elicit willingness-to-pay in hypothetical scenarios (De Groot et al., 2002; Pisani et al., 2021; Selivanov & Hlaváčková, 2021). Together, these approaches provide a structured basis for capturing the multi-functionality of ES and quantifying their total contribution to society.

Although several monetary valuation methods exist for ES, their direct application is not always feasible in practice. Primary valuation studies often require large datasets, extended timeframes, and substantial financial resources, which makes them challenging to implement in complex and data-limited contexts such as cities. In addition, the heterogeneity of methodologies, the difficulties in attributing values to non-market ES, and the lack of harmonised monitoring data further complicate the possibility of relying exclusively on primary valuation approaches (Johnston et al., 2015). These constraints underline the importance of alternative methodologies capable of providing robust yet cost-effective evidence to inform environmental policy and planning. The benefit transfer (BT) method has emerged as one of the most pragmatic approaches to overcome these challenges. BT estimates the economic value of ES by taking values from existing primary studies (study sites) and applying them to new contexts or policy sites, with the aim of predicting welfare effects (Johnston et al., 2015; Pisani et al., 2021). The principal advantage of BT lies in its capacity to reduce the costs in terms of time and financial resources that would otherwise be required for primary valuation studies (Johnston et al., 2015; Lam-González et al., 2022). Moreover, BT allows the systematic combination of values for different ES, thus capturing the multifunctionality of NBS and enabling the aggregation of the diverse benefits they generate. However, the accuracy of BT depends strongly on the quality of the primary studies from which values are transferred and on the degree of similarity between study sites and policy sites in ecological, socio-economic, and cultural terms. Violations of these assumptions can introduce errors, including selection bias, which may distort the estimated values (Johnston et al., 2015). Despite these potential limitations, BT has been widely applied in national and global ES assessments (UK NEA, 2011; EEA, 2010; TEEB, 2010), in value mapping applications (Schaegner et al., 2013), and in policy appraisals (Collier & Dollar, 2002). This broad

application highlights the recognised usefulness and legitimacy of BT as a second-best solution in contexts where primary studies are not feasible.

In the paper, the BT method has been adopted to estimate the economic value of ES generated by NBS implemented in urban areas in the context of the EU-funded Horizon project URBAN GreenUP. The method allowed for the integration of values associated with multiple ES, reflecting the multifunctional role of NBS in cities and making their socio-economic contributions explicit. The paper is structured as follows: Section 1 provides the introduction, Section 2 presents the methodology adopted, Section 3 summarises the results obtained, and Section 4 and 5 respectively discuss the main findings and conclusions.

2. Methodology

The ex-post valuation was carried out using the BT technique to quantify the economic value generated through the implementation of NBS in the three pilot cities involved in the project Valladolid, Liverpool, and Izmir. BT methodology is composed of several sequential steps. First, a systematic review of the literature in which ES had been valued at the urban level was examined has been performed to provide reference data. On this basis, a repository of economic values was created. In parallel, NBS implemented in Valladolid, Liverpool, and Izmir were analysed and ES they delivered has been identified. Economic values drawn from the repository have been then associated with the ES provided by each NBS. When possible, values have been adjusted to reflect the local context, and the BT was applied to each city and to the corresponding NBS.

The literature review was performed using the Scopus database. Only papers in English were considered, and the economic valuation had to satisfy three criteria: i) monetary values had to be reported per surface area (or derivable from the data provided), to ensure comparability and usability in benefit transfer; ii) the valuation had to refer to ES of the NBS considered (e.g.: criterion excluded, for instance, contingent valuation studies in which respondents were asked to state their willingness to pay to preserve an NBS without reference to its ES); iii) monetary values had to be reported on an annual basis. The systematic review initially identified 184 papers. After removing duplicates, 169 remained. Screening of titles and abstracts led to the exclusion of 69 papers based on language, document type, or irrelevance to the research scope. Out of the 100 papers retained, 43 were excluded for not meeting the three criteria: 17 did not report values per surface area, 21 assessed the NBS as a whole and not its ES, and 5 did not provide annualised values. A further 13 papers were excluded because no monetary valuation of NBS was included. As a result, 44 studies were retained after full-text reading. An additional 31 studies were identified through a snowballing approach, bringing the final dataset to 75 papers. All values were standardised to €2020 per square metre to ensure comparability, adjusting for inflation using the consumer price index (CPI). When the year of valuation was not specified, the year of publication minus one was assumed. For studies conducted in non-OECD countries, purchasing power parity (PPP) rates were applied instead of exchange rates, thereby eliminating differences in price levels. When values were reported as NPV, they were converted into annual cash flows, assuming constant flows across the NBS lifespan. Extreme values were excluded within each ES. Outliers were defined as values outside the interval , where Q1 is the first quartile, Q3 the third quartile, and IQR the interquartile range. Given the positive skewness of all distributions, only values larger than the upper limit were excluded. For each NBS, minimum and maximum values of all ES were aggregated to calculate lower and upper ranges of TEV. Where only a single value was available, it was used for both the minimum and maximum. Of the 75 papers included, approximately 40 addressed urban trees and green roofs, about 30 analysed urban parks and wetlands, while the remainder focused on Sustainable Drainage Systems (SuDS) and green walls. Several papers assessed more than one ES for the same NBS, resulting in 249 observations of economic values. In total, economic values were identified for eight typologies of NBS, covering 16 different ES. Table 1 reports the typologies of NBS considered and the ES valued. As emerges from the analysis, for some NBS it was not possible to identify values associated with specific ES. This limitation can be attributed to several factors, including the scarcity of data available in the scientific literature, the lack of monitoring data on the generated impacts—

which are essential for economic valuation—and the fact that not all NBS considered produce the full range of ES.

Table 1. NbS and ES values identified in literature

	ES CATEGORIES	Urban parks	Urban trees	SUDs	Green roof	Green wall	Urban orchards	Urban wetland	Cycle path
PROV.	Food provision				X		X		
	Raw materials					X		X	
	Fresh water			X				X	
	Medicinal resources							X	
REG.	Carbon sequestration	X	X	X	X	X		X	
	Air quality regulation	X	X	X	X	X		X	
	Regulation of water flows	X	X	X	X		X	X	
	Waste-water treatment			X	X			X	
	Local climate regulation		X	X	X			X	
	Extreme events moderation			X	X			X	
	Noise reduction				X	X			
	Erosion prevention and maintenance of soil fertility							X	
SUPP.	Habitats for species			X	X			X	
CULT.	Recreation and mental and physical health	X	X		X		X	X	
	Aesthetic appreciation and inspiration for culture, art and design	X	X	X	X	X		X	X
	Spiritual experience and sense of place	X							
	Tourism	X						X	

The methodologies and tools applied in the case studies varied considerably, with 10 methodologies and 6 tools recorded. The most frequently applied methodology was “damage and avoided cost”, followed by “replacement cost”, “hedonic prices”, and “contingent valuation”. The most used tools were i-Tree and BeST. This variability generated different values for the same ES; therefore, where possible, ranges were established using minimum and maximum values. The values were expressed either in €/m²/year or €/tree/year. In some cases, multiple units of measurement were found for the same ES across studies (Table 2).

Table 2. ES and unit of measures

ES	Unit of measure
Carbon storage and sequestration	€/tree
Air quality regulation	
Regulation of water flows	
Local climate regulation	
Aesthetic appreciation and inspiration for culture, art and design	
Food provision	€/m ²
Raw materials	
Fresh water	
Medicinal resources	
Carbon sequestration and storage	
Air quality regulation	
Regulation of water flows	
Waste-water treatment	
Local climate regulation	
Moderation of extreme events	
Noise reduction	
Erosion prevention and maintenance of soil fertility	
Habitats for species	
Recreation and mental and physical health	
Aesthetic appreciation and inspiration for culture, art and design	
Spiritual experience and sense of place	
Tourism	

A matrix has been created to associate the NBS planned in Valladolid, Liverpool and Izmir with the ES provided and their values. In some cases, the value of an ES was represented by a single estimate due to the availability of only one case study; in others, ranges were reported. For certain NBS, such as urban trees and urban gardens and parks, values were reported both in m²/year and tree/year. To avoid double counting, only tree-based values were used, as these were considered more reliable. To perform the ex-post valuation, correspondences between the NBS and ES identified through the literature review and the NBS planned in Valladolid, Liverpool, and Izmir have been established. The planned NBS have been analysed to determine their characteristics and to identify the ES provided, enabling the assignment of literature-derived values and the subsequent economic valuation. In most cases, not all ES could be valued due to the limited number of available studies.

Following this, the values have been associated with each NBS planned in Valladolid, Liverpool, and Izmir, and the ex-post valuation was performed using the benefit transfer technique. Overall, for the calculation of the ES values in the three cities the following formulae have been applied: Standardisation of unit values (1)

$$\tilde{v}_{\{r,ES\}}^{\{\text{€}2020\}} = \left(v_{\{r,ES\}}^{\{\text{currency}_{r,y_r}\}} \times PPP_{\{r \rightarrow \text{€}\}(y_r)} \right) \times (CPI_{\{\text{€}\}(2020)} / CPI_{\{\text{€}\}(y_r)}) \quad (1)$$

If Net Present Value (NPV) is reported (2):

$$v_{\{r,ES\}}^{\{\text{annual}\}} = NPV_{\{r,ES\}} \times [d / (1 - (1 + d)^{-T})] \quad (2)$$

Computation of ES values for each NBS (3):

$$VAL_{\{c,j,ES\}} = \tilde{v}_{\{r,ES\}}^{\{\text{€}2020\}} \times U_{\{c,j,ES\}} \quad (3)$$

Aggregated per NBS (4):

$$VAL_{\{c,j\}}^{\{\min\}} = \sum_{ES} v_{\{c,ES\}}^{\{\min\}} \times U_{\{c,j,ES\}}, \quad VAL_{\{c,j\}}^{\{\max\}} = \sum_{ES} v_{\{c,ES\}}^{\{\max\}} \times U_{\{c,j,ES\}} \quad (4)$$

Total Economic Value (TEV (5)):

$$TEV_{\{c\}}^{\{\min\}} = \sum_j VAL_{\{c,j\}}^{\{\min\}}, \quad TEV_{\{c\}}^{\{\max\}} = \sum_j VAL_{\{c,j\}}^{\{\max\}} \quad (5)$$

Table 3. Parameters used in the benefit transfer formula

Symbol	Definition	Unit
$v_{\{r,ES\}}^{\{\text{currency}_{r,y_r}\}}$	Unit value of ES in reference study r, expressed in local currency and year y_r	€/m ² /year or €/tree/year
$\tilde{v}_{\{r,ES\}}^{\{\text{€}2020\}}$	Standardised unit value converted into €2020	€/m ² /year or €/tree/year
$PPP_{\{r \rightarrow \text{€}\}(y_r)}$	Purchasing power parity conversion factor from study site currency to euro in year y_r	Dimensionless
$CPI_{\{\text{€}\}(2020)}$	Consumer price index for year y	Dimensionless (index)
$NPV_{\{r,ES\}}$	Net Present Value of ES in study r	€
d	Discount rate used for annualisation	%
T	Lifespan of the NBS considered in the study	Years
$U_{\{c,j,ES\}}$	Physical unit of the NBS in city c, type j (area or number of trees)	m ² or number of trees
$v_{\{c,ES\}}^{\{\min\}}, v_{\{c,ES\}}^{\{\max\}}$	Minimum and maximum standardised values for ES at city level (after IQR trimming)	€/m ² /year or €/tree/year
$VAL_{\{c,j,ES\}}$	Economic value of ES provided by NBS j in city c	€ per year
$VAL_{\{c,j\}}^{\{\min\}}, VAL_{\{c,j\}}^{\{\max\}}$	Aggregated minimum and maximum economic value of NBS j in city c	€ per year
$TEV_{\{c\}}^{\{\min\}}, TEV_{\{c\}}^{\{\max\}}$	Total Economic Value (minimum and maximum) of all NBS in city c	€ per year
R*	Set of reference studies retained after outlier removal	–

3. Results

This section presents the results of the ex-post economic valuation of NBS in Valladolid, Liverpool and Izmir. For each city, the ES assessed in the different demo sites, in which NBS have been implemented, are described, followed by the monetary ranges estimated through BT method. Finally, aggregated values per city are reported, including the median values, which provide an additional measure of central tendency.

3.1 ES monetary valuation in Valladolid

In Valladolid, the NBS were implemented in three demo sites, each characterised by different interventions and associated ES (Table 4).

Table 4. NBS and ES valued in Valladolid

	NBS	ES associated
SUB DEMO A	Cycle lane/Cycle-pedestrian green paths	Recreation and mental and physical health
	Planting 1000 trees	Carbon sequestration and storage, Air quality regulation, Regulation of water flows, Local climate regulation, Recreation and mental and physical health, Aesthetic appreciation and inspiration for culture, art and design, Spiritual experience and sense of place
	Tree shady places/green resting areas	Carbon sequestration and storage, Air quality regulation, Regulation of water flows, Local climate regulation, Spiritual experience and sense of place
	Smarts soils as substrate	N.A.
SUB DEMO B	Shade and cooling trees	N.A.
	Electro wetland roof	Carbon sequestration and storage, Air quality regulation, Regulation of water flows, Local climate regulation, Recreation and mental and physical health, Aesthetic appreciation and inspiration for culture, art and design, Spiritual experience and sense of place
	Green Roof	N.A.
	Compacted pollinator's modules	Food provision, Carbon sequestration and storage, Air quality regulation, Regulation of water flows, Waste-water treatment, Local climate regulation, Moderation of extreme events, Habitat for species, Recreation and mental and physical health, Aesthetic appreciation and inspiration for culture, art and design, Spiritual experience and sense of place
	Urban Garden Bio-Filter	N.A.
	Smarts soils as substrate	N.A.
	Green Façade/Vertical mobile garden	N.A.
	Re-naturing parking trees	Raw materials, Carbon sequestration and storage, Air quality regulation, Local climate regulation, Aesthetic appreciation and inspiration for culture, art and design
	Rain gardens/SUDs for renaturing parking	Carbon sequestration and storage, Air quality regulation, Regulation of water flows, Local climate regulation, Recreation and mental and physical health, Aesthetic appreciation and inspiration for culture, art and design, Spiritual experience and sense of place

Follow Table 4. NBS and ES valuated in Valladolid

	NBS	ES associated
SUB DEMO B	Urban Carbon Sink	Carbon sequestration and storage, Air quality regulation, Regulation of water flows, Local climate regulation, Spiritual experience and sense of place
	Parking Green Pavement	N.A.
	Natural pollinator's modules	N.A.
	Compacted pollinator's modules	N.A.
	Smarts soils as substrate	N.A.

In Sub-demo A, the interventions consisted of the development of a new green cycle lane, the planting of 1,000 trees, and the creation of green resting areas. These measures generated a wide spectrum of ES. The regulating services included carbon sequestration and storage, air quality regulation, regulation of water flows, and local climate regulation. Cultural services included recreation and mental and physical health, aesthetic appreciation and inspiration for culture, art and design, as well as spiritual experience and sense of place. Provisioning services such as food provision and raw materials were also indirectly considered. The estimated economic values for Sub-demo A ranged between €107,796 and €315,410 per year, with a median of €211,603 per year (Table 5).

In Sub-demo B, the NBS included shade and cooling trees, the installation of a green roof, and a vertical mobile garden. These interventions provided regulating services (carbon sequestration and storage, air quality regulation, regulation of water flows, local climate regulation, wastewater treatment, moderation of extreme events, habitat provision), provisioning services (food provision, raw materials), and cultural services (recreation, aesthetic appreciation and inspiration, and spiritual experience). The annual value estimated for this demo site ranged between €80,196 and €536,278 per year, with a median of €308,237 per year.

Sub-demo C focused on the re-naturing of parking areas with trees and rain gardens, the implementation of an urban carbon sink, and the establishment of urban orchards. The ES assessed in this site included regulating services such as carbon sequestration, air quality regulation, regulation of water flows, wastewater treatment, moderation of extreme events, and habitat provision. In addition, provisioning services such as food provision and cultural services such as recreation, aesthetic appreciation, and spiritual experience were associated with these interventions. The annual economic values obtained for Sub-demo C varied between €137,244 and €1,599,175 per year, with a median of €868,210 per year.

Overall, the aggregated annual economic value of NBS in Valladolid was estimated to range between €325,236 – €2,450,863 per year, with a median of €1,388,050 per year. The results highlight that the highest contribution comes from Sub-demo C, mainly due to the role of the urban carbon sink, which produced the largest single estimate across the city. The variability between minimum and maximum values reflects the heterogeneity of the valuation methods used, especially in relation to cultural ES and climate regulation.

Table 5. Economic valuation of the NBS implemented in Valladolid

NBS		ECONOMIC VALUES PER YEAR min-max	
SUB DEMO A	Cycle lane/Cycle-pedestrian green paths	8,484 €	146,626 €
	Planting 1000 trees	96,400 €	123,930 €
	Tree shady places/green resting areas	2,912 €	44,854 €
	Smarts soils as substrate	/	/
	Natural pollinator's modules	/	/
	TOT	107,796 €	315,410 €
SUB DEMO B	Shade and cooling trees	58,210 €	275,738 €
	Electro wetland roof	26 €	757 €
	Green Roof	19,028 €	217,104 €
	Compacted pollinator's modules	/	/
	Urban Garden Bio-Filter	5 €	151 €
	Smarts soils as substrate	/	/
	Green Façade/Vertical mobile garden	2,,927 €	42,528 €
	TOT	80,196 €	536,278 €
SUB DEMO C	Re-naturing parking trees	38,560 €	49,572 €
	Rain gardens/SUDs for renaturing parking	896 €	45,620 €
	Urban Carbon Sink	97,060 €	1,495,130 €
	Natural pollinator's modules	/	/
	Compacted pollinator's modules	/	/
	Smarts soils as substrate	/	/
	Urban orchards	728 €	8,853 €
	TOT	137,244 €	1,599,175 €

3.2 ES monetary valuation in Liverpool

In Liverpool, NBS were also planned in three demo sites, each characterised by interventions aimed at improving regulating, provisioning, and cultural services (Table 6).

Table 6. NBS and ES valued in Liverpool

	NBS	ES associated
SUB DEMO A	New pedestrian and cycleway green route	Recreation and mental and physical health
	Cooling and shade trees	Carbon sequestration and storage, Air quality regulation, Regulation of water flows, Local climate regulation, Recreation and mental and physical health, Aesthetic appreciation and inspiration for culture, art and design, Spiritual experience and sense of place
	SUDS raingarden and HDP	Fresh water, Carbon sequestration and storage, Air quality regulation, Regulation of water flows, Waste-water treatment, Local climate regulation, Moderation of extreme events, Habitat for species, Aesthetic appreciation and inspiration for culture, art and design
	Enhanced nutrient managing and releasing soil	N.A.
	Pollinator verges	N.A.
	Pollinator walls vertical	Raw materials, Carbon sequestration and storage, Air quality regulation, Local climate regulation, Aesthetic appreciation and inspiration for culture, art and design
	Floating gardens	N.A.
	Hard drainage pavements	N.A.
	Green resting areas	Carbon sequestration and storage, Air quality regulation, Regulation of water flows, Local climate regulation, Spiritual experience and sense of place
	Green travel route	Recreation and mental and physical health
SUB DEMO B	Road junction pedestrian improvements	N.A.
	Urban catchment forestry and shade trees	Carbon sequestration and storage, Air quality regulation, Regulation of water flows, Local climate regulation, Recreation and mental and physical health, Aesthetic appreciation and inspiration for culture, art and design, Spiritual experience and sense of place
	Hard drainage pavements	N.A.
	Pollinator walls vertical	Raw materials, Carbon sequestration and storage, Air quality regulation, Local climate regulation, Aesthetic appreciation and inspiration for culture, art and design
	Green filter area	N.A.
SUB DEMO C	New pedestrian and cycleway green route	Recreation and mental and physical health
	Road junction pedestrian improvements	N.A.

Follow Table 6. NBS and ES valued in Liverpool

	NBS	NBS
SUB DEMO C	Urban catchment forestry, Urban Carbon Sink and shade trees	
	SUDS raingarden	Fresh water, Carbon sequestration and storage, Air quality regulation, Regulation of water flows, Waste-water treatment, Local climate regulation, Moderation of extreme events, Habitat for species, Aesthetic appreciation and inspiration for culture, art and design
	Hard drainage (flood prevention)	N.A.
	Enhanced nutrient managing and releasing soil	N.A.
	Pollinator verges	N.A.
	Floating gardens	N.A.

In Sub-demo A, the main NBS were a new pedestrian and cycleway green route, cooling and shade trees, raingardens, pollinator walls, and green resting areas. The ES associated with these interventions included regulating services such as carbon sequestration, air quality regulation, water flow regulation, local climate regulation, wastewater treatment, and moderation of extreme events. Provisioning services such as raw materials were also considered, together with cultural services including recreation, aesthetic appreciation, and spiritual experience. The annual value generated in Sub-demo A was between €12,802 and €168,295 per year, with a median of €90,549 per year (Table 7).

In Sub-demo B, the interventions comprised a green travel route and urban catchment forestry with shade trees. These were associated with regulating services (carbon sequestration, air quality regulation, water regulation, climate regulation) and cultural services (recreation, aesthetic appreciation, and spiritual experience). The estimated value of this demo site ranged between €28,195 and €1,490,699 per year, with a median of €759,447 per year.

Sub-demo C included new pedestrian and cycleway routes, urban catchment forestry, and SUDS raingardens. These interventions provided regulating services such as carbon sequestration and climate regulation, cultural services such as recreation and aesthetic appreciation, and habitat provision. The value produced in Sub-demo C was estimated between €34,165 and €473,462 per year, with a median of €253,814 per year.

The aggregated annual value of Liverpool's NBS was between €75,162 – €2,132,456 per year, with a median of €1,103,809 per year. The highest contribution came from Sub-demo B, mainly due to the impact of urban catchment forestry and shade trees, which provide high values in both regulating and cultural dimensions.

Table 7. Economic valuation of the NBS implemented in Liverpool

	NBS	ECONOMIC VALUES PER YEAR min-max	
SUB DEMO A	New pedestrian and cycleway green route	1,016 €	17,560 €
	Cooling and shade trees	6,141 €	10,325 €
	SUDS raingarden and HDP	372 €	18,403 €
	Enhanced nutrient managing and releasing soil	/	/
	Pollinator verges	3,060 €	90,840 €
	Pollinator walls vertical	272 €	1,264 €

Follow Table 7. Economic valuation of the NBS implemented in Liverpool

NBS		ECONOMIC VALUES PER YEAR min-max	
SUB DEMO A	Floating gardens	/	/
	Hard drainage pavements	/	/
	Green resting areas	1,941 €	29,903 €
	TOT	12,802 €	168,295 €
SUB DEMO B	Green travel route	15,240 €	263,400 €
	Urban catchment forestry and shade trees	12,955 €	1,227,299 €
	Hard drainage pavements	/	/
	Pollinator walls vertical	/	/
	Green filter area	/	/
	TOT	28,195 €	1,490,699 €
SUB DEMO C	New pedestrian and cycleway green route	24,384 €	421,440 €
	Road junction pedestrian improvements	/	/
	Urban catchment forestry, and shade trees	9,050 €	15,216 €
	SUDS raingarden	731 €	36,806 €
	Hard drainage (flood prevention)	/	/
	Enhanced nutrient managing and releasing soil	/	/
	Pollinator verges	/	/
	Floating gardens	/	/
	TOT	34,165 €	473,462 €

3.3 ES monetary valuation in Izmir

In Izmir, three demo sites were considered, each including NBS addressing different ES categories (Table 8).

Table 8. NBS and ES valuated in Izmir

NBS		ES associated
SUB DEMO A	Arboreal areas	N.A.
	Green Car Park Covering Shelter	N.A.
	Cool pavement	Fresh water, Carbon sequestration and storage, Air quality regulation, Regulation of water flows, Waste-water treatment, Local climate regulation, Moderation of extreme events, Habitat for species, Aesthetic appreciation and inspiration for culture, art and design
	Green Shady structures and Smart soil	N.A.

Follow Table 8. NBS and ES valued in Izmir

	NBS	ES associated
SUB A	Installation of Parklets	Carbon sequestration and storage, Air quality regulation, Regulation of water flows, Local climate regulation, Spiritual experience and sense of place
	Grassed swales and water retention ponds around Bio-boulevard	Fresh water, Carbon sequestration and storage, Air quality regulation, Regulation of water flows, Waste-water treatment, Local climate regulation, Moderation of extreme events, Habitat for species, Aesthetic appreciation and inspiration for culture, art and design
SUB DEMO B	Natural Pollinator's modules	N.A.
	climate-smart greenhouses	N.A.
	The Bio-boulevard	N.A.
SUB DEMO C	Planting 4,800 trees	Carbon sequestration and storage, Air quality regulation, Regulation of water flows, Local climate regulation, Recreation and mental and physical health, Aesthetic appreciation and inspiration for culture, art and design, Spiritual experience and sense of place
	Green pavements for Peynircioğlu River	Fresh water, Carbon sequestration and storage, Air quality regulation, Regulation of water flows, Waste-water treatment, Local climate regulation, Moderation of extreme events, Habitat for species, Aesthetic appreciation and inspiration for culture, art and design
	Green fences	N.A.
	Establishment of fruit walls	Food Provision, Regulation of water flows, Recreation and mental and physical health
	Cycle and pedestrian route in new Green Corridor	Recreation and mental and physical health
	Culvert works for Peynircioğlu River	N.A.

In Sub-demo A, the main interventions were cool pavements and parklets, associated with regulating services such as carbon sequestration, air quality regulation, regulation of water flows, local climate regulation, wastewater treatment, moderation of extreme events, and habitat provision, as well as cultural services such as aesthetic appreciation and spiritual experience. The estimated annual values for this site ranged between €174,000 and €396,992 per year, with a median of €285,496 per year (Table 9).

In Sub-demo B, grassed swales and water retention ponds were implemented. These interventions were associated with regulating services (freshwater provision, carbon sequestration, air quality regulation, water regulation, wastewater treatment, climate regulation, moderation of extreme events, habitat provision) and cultural services (aesthetic appreciation and inspiration). The annual values for Sub-demo B ranged between €2,465 and €125,456 per year, with a median of €63,961 per year.

Sub-demo C comprised large-scale tree planting, the installation of green pavements along the Peynircioğlu River, the establishment of fruit walls, and the creation of a cycle and pedestrian green corridor. These NBS provided regulating services (carbon sequestration, air quality regulation, water regulation, wastewater treatment, climate regulation, moderation of extreme events, and habitat provision), provisioning services (food provision), and cultural services (recreation, aesthetic appreciation, and inspiration). The economic value generated by Sub-demo C ranged between €971,803 and €3,203,957 per year, with a median of €2,087,880 per year.

At the city scale, the total value generated by the NBS in Izmir ranged between €1,152,621 per

year and €5,759,584 per year, with a median of €3,456,103 per year. Among the three demo sites, Sub-demo C produced by far the highest contribution, reflecting the scale and intensity of the tree planting intervention and associated ES.

Table 9. Economic valuation of the NBS implemented in Izmir

NBS		ECONOMIC VALUES PER YEAR min-max	
SUB DEMO A	Arboreal areas	/	/
	Cool pavement	170,389 €	331,396 €
	Green Shady structures and Smart soil	/	/
	Installation of Parklets	2,912 €	44,854 €
	TOT	173,301 €	376,250 €
SUB DEMO B	Grassed swales and water retention ponds	2,465 €	125,456 €
	Natural Pollinator's modules	/	/
	climate-smart greenhouses	/	/
	The Bio-boulevard	/	/
	TOT	2,465 €	125,456 €
SUB DEMO C	Planting 4,800 trees	934,171 €	2,340,192 €
	Green pavements for Peynircioğlu River	6,454 €	328,466 €
	Green fences	/	/
	Establishment of fruit walls	698 €	8,499 €
	Cycle and pedestrian route in new Green Corridor	30,480 €	526,800 €
	Culvert works for Peynircioğlu River	/	/
	TOT	971,803 €	3,203,957 €

4. Discussions

The ex-post valuation conducted in Valladolid, Liverpool, and Izmir demonstrates the capacity of the BT approach to generate policy-relevant evidence on the economic value of ES delivered by NBS. The results provide a consistent framework for aggregating diverse ES values, while also highlighting the methodological challenges associated with heterogeneity in primary studies and differences between study and policy sites.

In Valladolid, the total annual economic value of NBS was estimated between €325,395 and €2,455,632 per year, with a median of €1,390,514 per year. The highest contribution was linked to Sub-demo C, where the implementation of an urban carbon sink produced substantial regulating benefits. However, the gap between minimum and maximum estimates remained wide, reflecting the methodological variability of the underlying primary studies, particularly for local climate regulation and cultural ES.

Liverpool recorded lower absolute values, ranging from €97,816 to €2,125,352 per year, with a median of €1,111,584 per year. Sub-demo B, characterised by urban catchment forestry and shade trees, contributed the largest share of benefits. Regulating ES such as carbon sequestration and air quality regulation were more consistently valued, whereas cultural ES such as recreation and aesthetic appreciation displayed higher variability depending on the valuation approach used.

Izmir yielded the highest estimates, with a total range of €1,147,569 – €3,705,663 and a median of €2,426,616. The most significant contribution came from Sub-demo C, where large-scale tree planting and the installation of green pavements accounted for substantial regulating and cultural services. The scale of interventions amplified both the absolute values and the spread between minimum and maximum estimates, again underscoring the sensitivity of BT to the heterogeneity of the primary valuation studies.

A comparison across the three cities highlights common patterns and context-specific differences. In all three cases, regulating services such as carbon sequestration and climate regulation accounted for the largest share of the estimated economic values, whereas cultural services showed the widest spread between minimum and maximum values. Provisioning services played only a minor role, being limited to specific interventions such as orchards in Valladolid and fruit walls in Izmir. The comparative results are summarised in Table 10. Valladolid reported intermediate values with a very widespread, Liverpool produced lower absolute values but showed a concentration of benefits in one demo site, and Izmir generated the highest totals, reflecting the scale of the interventions implemented.

Table 10. Comparative synthesis of the economic valuation of NBS in Valladolid, Liverpool, and Izmir

City	Total annual value (min–max)	Median (€)
Valladolid	€325,236 – €2,450,863	1,388,050
Liverpool	€75,162 – €2,132,456	1,103,809
Izmir	€1,147,569 – €3,705,663	2,426,616

From a methodological perspective, the application of BT across the three cities illustrates both its advantages and limitations. Its main advantage lies in the ability to provide monetary estimates of ES in contexts where primary valuation studies would be too resource-intensive, a feature widely recognised in ecosystem assessments at national and regional scales (EEA, 2010; UK NEA, 2011). Moreover, by applying a uniform valuation protocol, BT allows for comparability across sites and facilitates the aggregation of diverse ES values into measures of TEV.

However, the limitations of BT are also evident. The accuracy of transferred values depends critically on the quality and representativeness of the primary studies used, and transfer errors are more likely when socio-economic or ecological conditions diverge between study and policy sites (Rosenberger & Loomis, 2003; Johnston et al., 2015). A further source of variability is linked to the methodologies employed in the primary valuation studies. Approaches such as contingent valuation and other stated preference methods are inherently place-based, as they rely on individual perceptions, cultural preferences, and socio-economic characteristics of respondents. As widely recognised in the literature, these methods tend to produce values that vary substantially across contexts due to differences in cultural norms, income levels, and institutional settings (Bateman et al., 2002; Hanley et al., 2003; Champ et al., 2017). When transferred through BT without sufficient adjustment, this contextual dependency may amplify the uncertainty of estimates, particularly for cultural services where willingness-to-pay and perceptions of value are highly heterogeneous.

Additionally, the performance of NBS themselves is strongly influenced by territorial and climatic conditions. For example, the regulating effect of urban trees on climate and air quality depends not only on the number of trees planted but also on factors such as species, age, spatial distribution, and the surrounding urban morphology (Escobedo et al., 2011; Baró et al., 2014). Similarly, the cultural value of green spaces is shaped by local traditions, recreational practices,

and community engagement (Kabisch et al., 2016). By transferring values from different contexts, BT partially obscures these place-specific differences in NBS performance, leading to potential misrepresentation of their actual benefits at the policy site. This issue, repeatedly underlined in the literature, highlights the importance of combining BT with context-sensitive adjustments and, where possible, with site-specific monitoring data to better capture the heterogeneity of NBS outcomes (Plummer, 2009; Schaegner et al., 2013; Brander et al., 2017).

Overall, the results confirm that BT is a feasible approach for producing synthetic evidence on the economic value of NBS in urban contexts. These values can serve as an operational reference for municipal technicians and urban planners, facilitating the comparative assessment of alternative interventions and the integration of ecosystem benefits into decision-making processes. At the same time, they underline the need for methodological refinements and for the development of harmonised valuation protocols to reduce uncertainty in the valuation of ES categories that are especially sensitive to socio-cultural and ecological heterogeneity (Brander et al., 2006; Navrud & Ready, 2007).

5. Conclusions

The ex-post valuation undertaken in Valladolid, Liverpool, and Izmir provides quantitative evidence that the implementation of NBS can generate substantial socio-economic and environmental benefits at the urban scale. Through the application of the BT method, the study contributed to estimating the economic value of multiple ES, thereby enhancing the understanding of the multifunctional role of NBS in addressing urban challenges and supporting sustainability objectives.

At the same time, several methodological limitations were identified. First, the analysis could not account for the full spectrum of ES potentially delivered by the planned NBS, due to the limited availability of valuation studies in the literature, particularly concerning provisioning, supporting, and cultural services. These categories are of specific relevance, as cultural ES are strongly linked to public health, well-being, and social cohesion. Second, the heterogeneity of the methodologies applied in the primary studies resulted in considerable variability in the transferred values, reflected in the wide ranges between minimum and maximum estimates. Third, the absence of consistent monitoring data across the Front-runner cities constrained the possibility of adjusting transferred values to site-specific conditions, thereby limiting the robustness and comparability of the estimates.

Despite these constraints, the results confirm that NBS can provide a wide set of socio-economic and ecological benefits, with important implications for urban planning and policy design. The study demonstrates the feasibility of BT as a second-best approach to inform decision-making where primary valuation is not practicable, while also highlighting the need for continued refinement of methodologies. Future research should therefore prioritise the development of harmonised valuation protocols, the expansion of the empirical evidence based, especially for underrepresented ES categories, and the integration of systematic monitoring data. Such efforts would strengthen the reliability of ex-post assessments and support the formulation of policies and investment strategies that reflect the full range of benefits generated by NBS in urban environments.

Bibliography

- Almenar J.B., Elliot T., Rugani B., Philippe B., Navarrete A., Sonnemann G. & Geneletti D. (2021). Nexus between nature-based solutions, ecosystem services and urban challenges. *Ecosystem Services*, 50, 101350. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2021.101350>
- Aries for Seaa Explorer. Available online: <https://aries.integratedmodelling.org/> (accessed on 4 August 2022)
- Braat L.C. & de Groot R. (2012). The ecosystem services agenda: Bridging the worlds of natural science and economics, conservation and development, and public and private policy. *Ecosystem Services*, 1(1), 4–15. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2012.07.011>
- Brander L.M. (2013). Ecosystem service values and their role in decision-making. *Ecosystem Services*, 1(1), 61–65. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2012.12.001>

- Brander L.M., Florax R.J.G.M. & Vermaat J.E. (2006). The empirics of ecosystem service valuation: A comprehensive meta-analysis of the value of ecosystems and biodiversity. *Ecological Economics*, 61(2–3), 250–259. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2006.01.003>
- Camps-Calvet M., Langemeyer J., Calvet-Mir L. & Gómez-Baggethun E. (2016). Ecosystem services provided by urban gardens in Barcelona, Spain: Insights for policy and planning. *Environmental Science & Policy*, 62, 14–23. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2016.01.007>
- Carter T. (2011). The potential of urban greening in the urban heat island effect. *Urban Ecosystems*, 14(3), 295–308. <https://doi.org/10.1007/s11252-011-0172-5>
- Collier P. & Dollar D. (2002). Aid allocation and poverty reduction. *European Economic Review*, 46(8), 1475–1500. [https://doi.org/10.1016/S0014-2921\(01\)00187-8](https://doi.org/10.1016/S0014-2921(01)00187-8)
- Croci E., Lucchitta B. & Penati T. (2021). Valuing ES at the urban level: a critical review. *Sustainability*, 13(3), 1129. <https://doi.org/10.3390/su13063339>
- Culhane F.E., Teixeira H., Nogueira A.J.A., Borgwardt F., Trauner D., Lillebø A.I. ... & O'Higgins T. (2019). Risk to the supply of ecosystem services across aquatic ecosystems. *Science of the Total Environment*, 660, 611–621. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.12.346>
- Dasgupta P. (2021). The economics of biodiversity: the Dasgupta review. Hm Treasury.
- De Groot R.S., Wilson M.A. & Boumans R.M.J. (2002). A typology for the classification, description and valuation of ecosystem functions, goods and services. *Ecological Economics*, 41(3), 393–408. [https://doi.org/10.1016/S0921-8009\(02\)00089-7](https://doi.org/10.1016/S0921-8009(02)00089-7)
- EEA. (2010). *Ecosystem accounting and the cost of biodiversity losses – The case of coastal Mediterranean wetlands*. European Environment Agency.
- European Commission (2013). Directorate General for the Environment. In Mapping and Assessment of Ecosystems and Their Services: An Analytical Framework for Ecosystem Assessments under Action 5 of the EU Biodiversity Strategy to 2020; Publications Office: Luxembourg.
- European Commission (2016). Directorate General for the Environment. In Mapping and Assessment of Ecosystems and Their Services; Urban Ecosystems, 4th Report; Publications Office: Luxembourg.
- European Commission (2021). Evaluating the impact of nature-based solutions: a handbook for practitioners, Publications Office of the European Union. <https://data.europa.eu/doi/10.2777/244577>
- Invest. Available online: <https://naturalcapitalproject.stanford.edu/software/invest> (accessed on 4 August 2022)
- IPBES (2022). Summary for policymakers of the methodological assessment of the diverse values and valuation of nature of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and ES. U. Pascual, P. Balvanera, M. Christie, B. Baptiste, D. González-Jiménez, C.B. Anderson S. Athayde R. Chaplin-Kramer S. Jacobs, E. Kelemen, R. Kumar, E. Lazos, A. Martin, T.H. Mwampamba, B. Nakangu, P. O'Farrell, C.M. Raymond S.M. Subramanian, M. Termansen, M. Van Noordwijk, A. Vatn (eds.). IPBES secretariat, Bonn, Germany. 37 pages. <https://doi.org/10.5281/zenodo.6522392>
- ISO (2019). Monetary valuation of environmental impacts and related environmental aspects. ISO 14008:2019. Retrieved from <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:14008:ed-1:v1:en>
- Johnston R. J., Rolfe J., Rosenberger R. S. & Brouwer R. (2015). *Benefit transfer of environmental and resource values: A guide for researchers and practitioners*. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-94-017-9930-0>
- Lam-González Y. E., León C.J., de León J. & Araña J.E. (2022). Benefit transfer for ecosystem services valuation: A review of current research and future challenges. *Ecosystem Services*, 55, 101420. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2022.101420>
- Lategan L.G., Steynberg Z., Cilliers E.J. & Cilliers S.S. (2022). Economic Valuation of Urban Green Spaces across a Socioeconomic Gradient: A South African Case Study. *Land*, 11(3), 413.
- LIFE N2K Wales (2015). Calculating the economic values of the ES provided by Natura 2000 features and sites in Wales. Action A9: LIFE N2K Wales: LIFE 11 NAT/UK/385.
- Majidi N., Yigitcanlar T., Guaralda M. & Ioppolo G. (2019). Place quality and urban health: A cross-sectional study of built environment quality and perceived general health in Brisbane, Australia. *Cities*, 89, 44–52. <https://doi.org/10.1016/j.cities.2019.01.023>
- Muradian R., Corbera E., Pascual U., Kosoy N. & May P.H. (2010). Reconciling theory and practice: An

- alternative conceptual framework for understanding payments for environmental services. *Ecological Economics*, 69(6), 1202–1208. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2009.11.006>
- National Research Council (2005). Valuing ES: toward better environmental decision-making. National Academies Press.
- Navrud S. & Ready R.C. (2007). Environmental value transfer: Issues and methods. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-1-4020-5405-4>
- Ozdemiroglu E., Tinch R., Johns H., Provins A., Powell J.C., Twigger-Ross C. (2006). Valuing Our Natural Environment—Final Report; EFTEC: London, UK.
- Pandeya B., Buytaert W., Zulkafli Z., Karpouzoglou T., Mao F. & Hannah D.M. (2016). A comparative analysis of ES valuation approaches for application at the local scale and in data scarce regions. *ES*, 22, 250–259.
- Pascual U., Muradian R., Brander L., Gómez-Baggethun E., Martín-López B., Verma M. ... & May P.H. (2010). The economics of valuing ecosystem services and biodiversity. In Kumar P. (Ed.), *The Economics of Ecosystems and Biodiversity: Ecological and Economic Foundations* (pp. 183–256). Routledge.
- Pisani D., Paziienza P., Perrino E.V., Caporale D. & De Lucia C. (2021). The Economic Valuation of ES of Biodiversity Components in Protected Areas: A Review for a Framework of Analysis for the Gargano National Park. *Sustainability*, 13(21), 11726. <https://doi.org/10.3390/su132111726>
- Potschin M., Kretsch C., Haines-Young R.E. Furman, Berry P., Baró F. (2015). Nature-based solutions. In: Potschin M. and K. Jax (eds): OpenNESS ES Reference Book. EC FP7 Grant Agreement no. 308428.
- Rosenberger R.S. & Loomis J.B. (2003). Benefit transfer. In P.A. Champ, K.J. Boyle & T.C. Brown (Eds.), *A primer on nonmarket valuation* (pp. 445–482). Springer. https://doi.org/10.1007/978-94-007-0826-6_14
- Schaegner J, Brander L, Maes J, Hartjed V. Mapping Ecosystem Services' Values: Current Practice and Future Prospects. *ECOSYSTEM SERVICES* 4; 2013. p. 33–46. JRC73266
- Selivanov E., Hlaváčková P. (2021): Methods for monetary valuation of ES: A scoping review. *J. For. Sci.*, 67: 499–511. <https://doi.org/10.17221/96/2021-JFS>
- Simpson W. (1998). Urban ecosystem management in an era of rapid change. *Landscape and Urban Planning*, 42(2–4), 85–90. [https://doi.org/10.1016/S0169-2046\(98\)00080-2](https://doi.org/10.1016/S0169-2046(98)00080-2)
- Small N., Munday M. & Durance I. (2017). The challenge of valuing ecosystem services that have no material benefits. *Global Environmental Change*, 44, 57–67. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2017.03.005>
- Social Values for ES (SolVES). Available online: <https://www.usgs.gov/centers/gecsc/science/> (accessed on 4 August 2022)
- Sukhdev P., Wittmer H., Schröter-Schlaack C., Neßhöver C., Bishop J., Ten Brink P., Gundimeda H., Kumar P., Simmons B. (2010). Mainstreaming the Economics of Nature: A Synthesis of the Approach, Conclusions and Recommendations of TEEB; UNEP: Nairobi, Kenya.
- TEEB, 2010. In: Kumar P. (Ed.), *The Economics of Ecosystems and Biodiversity: Ecological and Economic Foundations*. Earthscan, London and Washington DC.
- UK National Ecosystem Assessment (UK NEA). (2011). *The UK National Ecosystem Assessment: Synthesis of the Key Findings*. UNEP-WCMC.
- United Nations (2014). System of Environmental-Economic Accounting 2012—Central Framework; United Nations: New, York, NY, USA.

Valutazione dei benefici dei servizi ecosistemici tramite benefit transfer a Valladolid, Izmir e Liverpool: evidenze dal progetto *Horizon Urban GreenUP*

Edoardo Croci¹, Benedetta Lucchitta^{1,*}

¹ Università Bocconi, Centre for Research on Geography, Resources, Environment, Energy & Networks Via Röntgen n. 1, 20136 Milano, Italia; edoardo.croci@unibocconi.it; benedetta.lucchitta@unibocconi.it

* autore corrispondente

Parole chiave

Nature-Based Solutions, servizi ecosistemici, valutazione economica, *benefit transfer*, capitale naturale, pianificazione urbana

Abstract

L'implementazione delle *Nature-Based Solutions* (NBS) in ambito urbano rappresenta una strategia chiave per rafforzare e proteggere gli ecosistemi e i benefici che essi generano. Lo studio applica il metodo del benefit transfer (BT) per stimare il Valore Economico Totale (VET) dei servizi ecosistemici (SE) forniti dalle NBS implementate a Valladolid, Liverpool e Izmir nell'ambito del progetto europeo Horizon URBAN GreenUP. Attraverso una revisione sistematica della letteratura sono stati selezionati 75 studi primari, da cui sono stati derivati e standardizzati valori monetari relativi a 16 diverse tipologie di SE. I risultati mostrano come i benefici economici annuali delle NBS siano compresi tra 325.236 € e 2.450.863 € a Valladolid, tra 75.162 € e 2.132.456 € a Liverpool, e tra 1.147.569 € e 3.705.663 € a Izmir, con valori mediani rispettivamente pari a 1.388.050 €, 1.103.809 € e 2.426.616 €. In tutte le città, i servizi di regolazione (sequestro di carbonio, qualità dell'aria, regolazione climatica) costituiscono la componente predominante del valore stimato, mentre i servizi culturali presentano maggiore variabilità. Lo studio conferma la praticabilità del BT per la valutazione economica delle NBS in contesti urbani, pur evidenziando la necessità di sviluppare protocolli di valutazione armonizzati e di ampliare l'evidenza empirica per categorie di SE ancora sottorappresentate.

1. Introduzione

L'implementazione di *Nature-Based Solutions* (NBS) è essenziale per rafforzare il funzionamento degli ecosistemi a diverse scale, dal livello globale a quello locale. In ambito urbano, le NBS rendono operativo il concetto di servizi ecosistemici (SE), definiti come gli output finali delle strutture e dei processi ecosistemici che sostengono direttamente o indirettamente il benessere umano (Braat & de Groot, 2012; Culhane et al., 2019; Almenar et al., 2021). I SE sono comunemente classificati in quattro principali categorie: di approvvigionamento, di regolazione, culturali e di supporto. Su scala urbana, tali categorie assumono un ruolo particolarmente strategico. I servizi di approvvigionamento sono generalmente limitati, ma possono comprendere l'agricoltura urbana e i frutteti, che contri-

buiscono alla sicurezza alimentare e alla fornitura di risorse locali. I servizi di regolazione sono centrali, poiché le NBS urbane—quali alberi, parchi, zone umide e tetti verdi—contribuiscono al sequestro di carbonio, alla purificazione dell'aria, alla mitigazione delle inondazioni e alla regolazione climatica locale. I servizi culturali sono particolarmente rilevanti nelle aree urbane, dove gli spazi verdi offrono opportunità di ricreazione, miglioramento della salute fisica e mentale e rafforzamento della coesione sociale, aspetti sempre più riconosciuti come cruciali per la resilienza e la vivibilità urbana (Simpson, 1998; Camps-Calvet et al., 2016; Majidi et al., 2019). I servizi di supporto, sebbene meno visibili, risultano essenziali per il mantenimento della biodiversità e delle funzioni ecologiche negli ecosistemi urbani, garantendo la sostenibilità dei benefici forniti.

La comprensione del valore economico dei SE in ambito urbano è pertanto cruciale per la progettazione di politiche efficaci volte a preservare e valorizzare il capitale naturale in linea con gli obiettivi di sostenibilità. L'integrazione della valutazione dei SE nella pianificazione urbana consente ai decisori politici locali, ma anche a professionisti del settore, di cogliere meglio la multifunzionalità delle NBS e di contabilizzare benefici che, altrimenti, verrebbero trascurati dalle valutazioni economiche convenzionali (Dasgupta, 2021). La monetizzazione dei SE è complicata dalla loro natura non escludibile e non rivale, che ne impedisce l'inclusione nei mercati convenzionali e nei sistemi contabili economici. Per affrontare questa sfida, sono state sviluppate numerose iniziative internazionali che sottolineano la necessità di approcci valutativi comprensivi che siano in grado di catturare diversi benefici generati. In tale contesto, l'iniziativa *The Economics of Ecosystems and Biodiversity* (TEEB) (Sukhdev et al., 2010) ha promosso l'uso del quadro concettuale del Valore Economico Totale (VET), oggi lo strumento più ampiamente applicato nella valutazione monetaria dei SE. Il VET è definito come la somma di tutti i valori presenti e futuri dei flussi di servizi generati dal capitale naturale, opportunamente attualizzati (Muradian et al., 2010). Esso distingue tra valori d'uso, derivanti dall'utilizzo diretto o indiretto dei SE, e valori di non uso, associati a benefici intangibili non legati allo sfruttamento. Questo approccio consente di considerare sia le componenti di mercato sia quelle non di mercato del capitale naturale, incluse le componenti "nascoste" che non trovano riscontro nei conti economici tradizionali (Pascual et al., 2010; Pandeya et al., 2016). Le metodologie comunemente utilizzate nell'ambito del VET comprendono la valutazione diretta di mercato, le preferenze rivelate e le preferenze dichiarate. La prima si basa su transazioni di mercato osservabili; i metodi di preferenza rivelata inferiscono i valori da mercati correlati; mentre i metodi di preferenza dichiarata stimano la disponibilità a pagare attraverso scenari ipotetici (De Groot et al., 2002; Pisani et al., 2021; Selivanov & Hlaváčková, 2021). Insieme, questi approcci offrono una base strutturata per catturare la multifunzionalità dei SE e quantificare il loro contributo complessivo alla società.

Sebbene esistano diversi metodi di valutazione monetaria dei SE, la loro applicazione diretta non è sempre praticabile. Gli studi di valutazione primaria richiedono spesso dataset di grandi dimensioni, lunghi tempi di raccolta dati e risorse finanziarie consistenti, fattori che ne rendono difficile l'implementazione in contesti complessi e caratterizzati da limitata disponibilità di dati, come le città. Inoltre, l'eterogeneità delle metodologie, le difficoltà nell'attribuire valori ai SE non di mercato e la mancanza di dati di monitoraggio armonizzati complicano ulteriormente la possibilità di basarsi esclusivamente su approcci primari (Johnston et al., 2015). Questi vincoli evidenziano l'importanza di metodologie alternative capaci di fornire evidenze robuste ma al tempo stesso costo-efficienti per informare le politiche ambientali e la pianificazione urbana.

In tale prospettiva, si è affermato il metodo del *benefit transfer* (BT). Il BT stima il valore economico dei SE trasferendo i valori da studi primari esistenti (*study sites*) a nuovi contesti o siti di policy, con l'obiettivo di prevedere gli effetti sul benessere (Johnston et al., 2015; Pisani et al., 2021). Il principale vantaggio del BT risiede nella capacità di ridurre i costi in termini di tempo e risorse finanziarie, altrimenti richiesti dagli studi primari (Johnston et al., 2015; Lam-González et al., 2022). Inoltre, il BT consente di combinare sistematicamente valori riferiti a diversi SE, catturando così la multifunzionalità delle NBS e permettendo di aggregarne i benefici eterogenei. Tuttavia, l'accuratezza del BT dipende fortemente dalla qualità degli studi primari da cui i valori vengono trasferiti e dal grado di similarità tra *study sites* e *policy sites* sotto il profilo ecologico, socioeconomico e culturale. Il mancato rispetto di queste condizioni può introdurre errori, inclusi bias di selezione, che possono distorcere i valori stimati (Johnston et al., 2015). Nonostante queste possibili limitazioni, il

BT è stato ampiamente applicato in valutazioni nazionali e globali dei SE (UK NEA, 2011; EEA, 2010; TEEB, 2010), in applicazioni di mappatura del valore (Schaegner et al., 2013) e in valutazioni di policy (Collier & Dollar, 2002). Questa ampia applicazione testimonia l'utilità e la legittimità del BT come *second-best solution* in contesti in cui gli studi primari non risultano realizzabili.

In questo articolo, il metodo BT è stato adottato per stimare il valore economico dei SE generati dalle NBS implementate in aree urbane nell'ambito del progetto europeo *Horizon URBAN GreenUP*. Il metodo ha permesso di integrare i valori associati a molteplici SE, riflettendo il ruolo multifunzionale delle NBS nelle città – incluse nel progetto e non – e rendendo espliciti i loro contributi socioeconomici. L'articolo è strutturato come segue: la Sezione 1 introduce il tema, la Sezione 2 presenta la metodologia adottata, la Sezione 3 riporta i principali risultati, mentre le Sezioni 4 e 5 discutono rispettivamente le implicazioni e le conclusioni.

2. Metodologia

La revisione della letteratura è stata condotta utilizzando il database Scopus. Sono stati considerati esclusivamente prodotti scientifici in lingua inglese e la valutazione economica doveva soddisfare tre criteri: i) i valori monetari dovevano essere riportati per unità di superficie (o ricavabili dai dati forniti), per garantire comparabilità e utilizzabilità nel benefit transfer; ii) la valutazione doveva riferirsi ai SE delle NBS considerate (sono stati pertanto esclusi, ad esempio, studi di *contingent valuation* in cui agli intervistati era chiesto di dichiarare la propria disponibilità a pagare per la conservazione di una NBS senza riferimento ai suoi SE); iii) i valori monetari dovevano essere riportati su base annua.

La revisione sistematica ha inizialmente identificato 184 prodotti scientifici. Dopo la rimozione dei duplicati, ne sono rimasti 169. Lo screening di titoli e abstract ha portato all'esclusione di 69 prodotti scientifici in base alla lingua, al tipo di documento o all'irrelevanza rispetto all'oggetto della ricerca. Dei 100 prodotti scientifici conservati, 43 sono stati esclusi perché non rispettavano i tre criteri: 17 non riportavano valori per unità di superficie, 21 valutavano la NBS nel suo complesso e non i suoi SE, e 5 non fornivano valori annualizzati. Ulteriori 13 prodotti scientifici sono stati esclusi perché non presentavano alcuna valutazione monetaria delle NBS. Di conseguenza, 44 studi sono stati mantenuti dopo la lettura completa del testo. Attraverso l'analisi della letteratura citata nei paper sono stati identificati ulteriori 31 studi, portando il dataset finale a 75 prodotti scientifici.

Tutti i valori sono stati standardizzati a €/m²/ 2020 per garantire la comparabilità, correggendo per l'inflazione attraverso l'indice dei prezzi al consumo (CPI). Quando l'anno della valutazione non era specificato, si è assunto come riferimento l'anno di pubblicazione meno uno. Per gli studi condotti in Paesi non-OCSE, sono stati applicati i tassi di parità di potere d'acquisto (PPP) in luogo dei tassi di cambio, al fine di eliminare le differenze nei livelli dei prezzi. Quando i valori erano espressi come Valore Attuale Netto (VAN), essi sono stati convertiti in flussi annuali costanti sull'intero ciclo di vita previsto della NBS.

Gli *outlier* sono stati esclusi all'interno di ciascun SE. Questi sono stati definiti come i valori al di fuori dell'intervallo, dove Q1 rappresenta il primo quartile, Q3 il terzo quartile e IQR l'intervallo interquartile. Dato che tutte le distribuzioni presentavano una marcata asimmetria positiva, sono stati esclusi soltanto i valori superiori al limite superiore. Per ciascuna NBS, i valori minimi e massimi di tutti i SE sono stati aggregati per calcolare gli intervalli inferiori e superiori del VET. Nei casi in cui fosse disponibile un solo valore, questo è stato utilizzato sia come minimo sia come massimo.

Dei 75 prodotti scientifici inclusi, circa 40 trattavano di alberi urbani e tetti verdi, circa 30 analizzavano parchi urbani e aree umide urbane mentre i restanti erano focalizzati sui *Sustainable Drainage System* (SuDS) e pareti verdi. Diversi studi hanno valutato più di un SE per la stessa NBS, generando in totale 249 osservazioni di valori economici. Complessivamente, sono stati identificati valori economici per otto tipologie di NBS, relative a sedici differenti SE. La Tabella 1 riporta le tipologie di NBS considerate e i SE valutati. Come emerge, per alcune NBS non è stato possibile identificare valori associati a specifici SE. Tale limitazione può essere attribuita a diversi fattori, tra cui la scarsità di dati disponibili nella letteratura scientifica, la mancanza di dati di monitoraggio sugli

impatti generati — necessari per effettuare una valutazione economica — e il fatto che non tutte le NBS considerate producono l'intera gamma di SE.

Tabella 1. Valori identificati per ciascuna NBS e SE

	CATEGORIE SE	Parchi urbani	Alberi urbani	SuDS	Tetti verdi	Pareti verdi	Orti urbani	Aree umide urbane	Piste ciclabili
APPROV.	Fornitura di cibo				X		X		
	Materie prime					X		X	
	Acqua dolce			X				X	
	Risorse medicinali							X	
REG.	Sequestro di carbonio	X	X	X	X	X		X	
	Regolazione qualità dell'aria	X	X	X	X	X		X	
	Regolazione dei flussi idrici	X	X	X	X		X	X	
	Trattamento delle acque reflue			X	X			X	
	Regolazione climatica locale		X	X	X			X	
	Moderazione eventi estremi			X	X			X	
	Riduzione del rumore				X	X			
	Prevenzione erosione e mantenimento fertilità del suolo							X	
SUPP.	Habitat per specie			X	X			X	
CULT.	Ricreazione e salute fisica e mentale	X	X		X		X	X	
	Apprezzamento estetico e ispirazione (cultura, arte e design)	X	X	X	X	X		X	X
	Esperienza spirituale e senso di appartenenza al luogo	X							
	Turismo	X						X	

Le metodologie e gli strumenti applicati nei casi studio hanno mostrato una notevole variabilità, con 10 metodologie e 6 strumenti identificati. La metodologia più frequentemente utilizzata è risultata essere quella dei “danni evitati e costi evitati”, seguita da “costo di sostituzione”, “prezzi edonici” e “valutazione contingente”. Questa eterogeneità ha generato valori differenti per lo stesso SE; pertanto, laddove possibile, sono stati stabiliti intervalli attraverso l'individuazione di valori minimi e massimi. I valori sono stati espressi in €/m²/anno oppure in €/albero/anno. In alcuni casi, per lo stesso SE, sono state riscontrate unità di misura multiple nei diversi studi (Tabella 2).

È stata costruita una matrice per associare le NBS pianificate dai comuni di Valladolid, Liverpool e Izmir con i SE forniti e i relativi valori. In alcuni casi, il valore di un SE è stato rappresentato da

Tabella 2. SE e relativa unità di misura

SE	Unità di misura
Sequestro e stoccaggio del carbonio	€/albero
Regolazione della qualità dell'aria	
Regolazione dei flussi idrici	
Regolazione climatica locale	
Apprezzamento estetico e ispirazione per cultura, arte e design	
Fornitura di cibo	€/m ²
Materie prime	
Acqua dolce	
Risorse medicinali	
Sequestro e stoccaggio del carbonio	
Regolazione della qualità dell'aria	
Regolazione dei flussi idrici	
Trattamento delle acque reflue	
Regolazione climatica locale	
Moderazione degli eventi estremi	
Riduzione del rumore	
Prevenzione erosione e mantenimento fertilità del suolo	
Habitat per specie	
Ricreazione e salute fisica e mentale	
Apprezzamento estetico e ispirazione per cultura, arte e design	
Esperienza spirituale e senso di appartenenza al luogo	
Turismo	

una singola stima, data la disponibilità di un unico caso di studio; in altri, sono stati riportati intervalli di valori. Per alcune NBS, come alberi urbani e orti e parchi urbani, i valori sono stati espressi sia in m²/anno sia in albero/anno. Per evitare doppi conteggi, sono stati utilizzati esclusivamente i valori basati sugli alberi, ritenuti più affidabili. Per eseguire la valutazione ex-post, sono state stabilite corrispondenze tra le NBS e i SE identificati attraverso la revisione della letteratura e le NBS pianificate a Valladolid, Liverpool e Izmir. Le NBS pianificate sono state analizzate per determinarne le caratteristiche e identificare i SE forniti, consentendo l'assegnazione dei valori derivati dalla letteratura e la successiva valutazione economica. Nella maggior parte dei casi, non è stato possibile attribuire un valore a tutti i SE a causa del numero limitato di studi disponibili. Successivamente, i valori sono stati associati a ciascuna NBS pianificata a Valladolid, Liverpool e Izmir, e la valutazione ex-post è stata condotta utilizzando la tecnica del benefit transfer (BT).

Complessivamente, per il calcolo dei valori dei SE nelle tre città sono state applicate le seguenti formule:

Standardizzazione dei valori unitari (1):

$$\tilde{v}_{\{r,ES\}}^{\{\epsilon 2020\}} = \left(v_{\{r,ES\}}^{\{\text{currency}_r, y_r\}} \times PPP_{\{r \rightarrow \epsilon\}(y_r)} \right) \times \left(CPI_{\{\epsilon\}(2020)} / CPI_{\{\epsilon\}(y_r)} \right) \quad (1)$$

Se è riportato il Valore Attuale Netto (VAN (2)):

$$v_{\{r,ES\}}^{\{\text{annual}\}} = VAN_{\{r,ES\}} \times \left[d / (1 - (1 + d)^{-T}) \right] \quad (2)$$

Calcolo dei valori dei SE per ciascuna NBS (3):

$$VAL_{\{c,j,ES\}} = \tilde{v}_{\{r,ES\}}^{\{\epsilon 2020\}} \times U_{\{c,j,ES\}} \quad (3)$$

Aggregazione per NBS (4):

$$VAL_{\{c,j\}}^{\{\min\}} = \sum_{ES} v_{\{c,ES\}}^{\{\min\}} \times U_{\{c,j,ES\}}, \quad VAL_{\{c,j\}}^{\{\max\}} = \sum_{ES} v_{\{c,ES\}}^{\{\max\}} \times U_{\{c,j,ES\}} \quad (4)$$

VALORE ECONOMICO TOTALE VET (5):

$$VET_{\{c\}}^{\{\min\}} = \sum_j VAL_{\{c,j\}}^{\{\min\}}, \quad VET_{\{c\}}^{\{\max\}} = \sum_j VAL_{\{c,j\}}^{\{\max\}} \quad (5)$$

Tabella 3. Parametri utilizzati nella formula del benefit transfer

Simbolo	Descrizione
$\tilde{v}_{\{r,ES\}}^{\{\epsilon 2020\}}$	Valore unitario standardizzato del SE per il sito di riferimento r, espresso in euro al 2020.
$v_{\{r,ES\}}^{\{\text{currency}_r, y_r\}}$	Valore unitario originario del SE nel sito di riferimento r, espresso nella valuta locale e nell'anno y_r .
$PPP_{\{r \rightarrow \epsilon\}(y_r)}$	Fattore di conversione da valuta locale a euro tramite la parità di potere d'acquisto (PPP) per l'anno y_r .
$CPI_{\{\epsilon\}(2020)}$	Indice dei prezzi al consumo (CPI) per l'area euro nell'anno 2020.
$CPI_{\{\epsilon\}(y_r)}$	Indice dei prezzi al consumo (CPI) per l'area euro nell'anno di riferimento y_r .
$VAN_{\{r,ES\}}$	Valore Attuale Netto (VAN) del SE nel sito di riferimento r.
d	Tasso di sconto annuale utilizzato per l'attualizzazione dei flussi di benefici.
T	Orizzonte temporale (anni di durata della NBS considerata).
$\tilde{v}_{\{r,ES\}}^{\{\epsilon 2020\}}$	Valore annualizzato del SE derivato dal VAN.
$VAL_{\{c,j,ES\}}$	Valore economico del SE associato alla NBS j nella città c.
$U_{\{c,j,ES\}}$	Unità di misura del SE fornito dalla NBS j nella città c (ad es. m ² o numero di alberi).
$VAL_{\{c,j\}}^{\{\min\}}, VAL_{\{c,j\}}^{\{\max\}}$	Valore economico minimo e massimo della NBS j nella città c, ottenuti aggregando i valori dei diversi SE.
$VET_{\{c\}}^{\{\min\}}, VET_{\{c\}}^{\{\max\}}$	VET minimo e massimo dei SE per la città c, aggregato su tutte le NBS pianificate.

3. Risultati

La sezione presenta i risultati della valutazione economica dei SE generati dalle NBS a Valladolid, Liverpool e Izmir. Per ciascuna città vengono descritti i SE valutati nei diversi siti dimostrativi in cui sono state pianificate le diverse NBS (i.e.: Sub-demo), seguiti dagli intervalli monetari stimati mediante il metodo BT. Infine, sono riportati i valori aggregati per città, inclusi i valori mediani, che forniscono una misura aggiuntiva della tendenza centrale.

3.1 Valutazione monetaria dei SE a Valladolid

A Valladolid, le NBS sono state implementate in tre siti dimostrativi, ciascuno caratterizzato da interventi differenti e dai relativi SE (Tabella 4).

Tabella 4. NBS e SE valutati a Valladolid

	NBS	SE associati
SUB DEMO A	Pista ciclabile/ Percorsi ciclo-pedonali verdi	Ricreazione e salute fisica e mentale
	Piantumazione di 1000 alberi	Sequestro e stoccaggio del carbonio; Regolazione della qualità dell'aria; Regolazione dei flussi idrici; Regolazione climatica locale; Ricreazione e salute fisica e mentale; Apprezzamento estetico e ispirazione per cultura, arte e design; Esperienza spirituale e senso di appartenenza al luogo
	Aree verdi di sosta con alberi per ombra	Sequestro e stoccaggio del carbonio; Regolazione della qualità dell'aria; Regolazione dei flussi idrici; Regolazione climatica locale; Esperienza spirituale e senso di appartenenza al luogo
	Suolo intelligente	/
	Moduli naturali per impollinatori	/
	Alberi per ombreggiamento e raffrescamento	Sequestro e stoccaggio del carbonio; Regolazione della qualità dell'aria; Regolazione dei flussi idrici; Regolazione climatica locale; Ricreazione e salute fisica e mentale; Apprezzamento estetico e ispirazione per cultura, arte e design; Esperienza spirituale e senso di appartenenza al luogo
SUB DEMO B	Electro wetland	/
	Tetto verde	Fornitura di cibo; Sequestro e stoccaggio del carbonio; Regolazione della qualità dell'aria; Regolazione dei flussi idrici; Trattamento delle acque reflue; Regolazione climatica locale; Moderazione degli eventi estremi; Habitat per specie; Ricreazione e salute fisica e mentale; Apprezzamento estetico e ispirazione per cultura, arte e design; Esperienza spirituale e senso di appartenenza al luogo
	Moduli compattati per impollinatori	/
	Bio-filtro da giardino urbano	/
	Suolo intelligente	/
	Rinaturalizzazione dei parcheggi con alberi	Sequestro e stoccaggio del carbonio; Regolazione della qualità dell'aria; Regolazione dei flussi idrici; Regolazione climatica locale; Ricreazione e salute fisica e mentale; Apprezzamento estetico e ispirazione per cultura, arte e design; Esperienza spirituale e senso di appartenenza al luogo
	Rain gardens/SuDS	Fornitura di acqua dolce; Sequestro e stoccaggio del carbonio; Regolazione della qualità dell'aria; Regolazione dei flussi idrici; Trattamento delle acque reflue; Regolazione climatica locale; Moderazione degli eventi estremi; Habitat per specie; Apprezzamento estetico e ispirazione per cultura, arte e design

Segue Tabella 4. NBS e SE valutati a Valladolid

	NBS	SE associati
SUB DEMO B	Urban carbon sink	Sequestro e stoccaggio del carbonio; Regolazione della qualità dell'aria; Regolazione dei flussi idrici; Regolazione climatica locale; Esperienza spirituale e senso di appartenenza al luogo
	Pavimentazione verde dei parcheggi	/
	Moduli naturali per impollinatori	/
	Moduli compattati per impollinatori	/
	Orti urbani	Produzione di cibo; Regolazione dei flussi idrici; Esperienza spirituale e senso di appartenenza al luogo

Nel Sub-demo A, gli interventi hanno riguardato la realizzazione di una nuova pista ciclabile verde, la piantumazione di 1.000 alberi e la creazione di aree verdi di sosta. Queste misure hanno generato un ampio spettro di SE. I servizi di regolazione includevano sequestro e stoccaggio del carbonio, regolazione della qualità dell'aria, regolazione dei flussi idrici e regolazione climatica locale. I servizi culturali comprendevano ricreazione e salute fisica e mentale, apprezzamento estetico e ispirazione per cultura, arte e design, nonché esperienza spirituale e senso di appartenenza al luogo. Sono stati inoltre indirettamente considerati i servizi di approvvigionamento, come la fornitura di cibo e di materie prime. I valori economici stimati per il Sub-demo A variavano tra 107.796 € e 315.410 € all'anno, con una mediana di 211.603 € all'anno (Tabella 5).

Nel Sub-demo B, le NBS implementate hanno fornito servizi di regolazione (sequestro e stoccaggio del carbonio, regolazione della qualità dell'aria, regolazione dei flussi idrici, regolazione climatica locale, trattamento delle acque reflue, moderazione degli eventi estremi, fornitura di habitat), servizi di approvvigionamento (fornitura di cibo, materie prime) e servizi culturali (ricreazione, apprezzamento estetico e ispirazione, esperienza spirituale). Il valore annuale stimato per questo *demo site* variava tra 80.196 € e 536.278 € all'anno, con una mediana di 308.237 € all'anno.

Il Sub-demo C si è concentrato sulla rinaturalizzazione di aree di parcheggio con alberi e rain gardens, sull'implementazione di un urban carbon sink e sulla creazione di orti urbani. I SE valutati in questo sito includevano servizi di regolazione quali sequestro del carbonio, regolazione della qualità dell'aria, regolazione dei flussi idrici, trattamento delle acque reflue, moderazione degli eventi estremi e fornitura di habitat. Inoltre, sono stati considerati servizi di approvvigionamento come la fornitura di cibo e servizi culturali quali ricreazione, apprezzamento estetico ed esperienza spirituale. I valori economici annuali ottenuti per il Sub-demo C variavano tra 137.244 € e 1.599.175 € all'anno, con una mediana di 868.210 € all'anno.

Complessivamente, il valore economico annuale aggregato delle NBS a Valladolid è stato stimato in un intervallo compreso tra 325.236 € e 2.450.863 € all'anno, con una mediana di 1.388.050 € all'anno. I risultati evidenziano che il maggiore contributo deriva dal Sub-demo C, principalmente grazie al ruolo del urban carbon sink, che ha prodotto la stima unitaria più elevata nell'intera città. La variabilità tra valori minimi e massimi riflette l'eterogeneità dei metodi di valutazione utilizzati, in particolare in relazione ai SE culturali e alla regolazione climatica.

Tabella 5. Valutazione economica delle NBS implementate a Valladolid

NBS		VET annuali min-max	
SUB DEMO A	Pista ciclabile/Percorsi ciclo-pedonali verdi	8.484 €	146.626 €
	Piantumazione di 1000 alberi	96.400 €	123.930 €
	Aree verdi di sosta con alberi per ombra	2.912 €	44.854 €
	Suolo intelligente come substrato	/	/
	Pista ciclabile/Percorsi ciclo-pedonali verdi	/	/
	TOT	107.796 €	315.410 €
SUB DEMO B	Moduli naturali per impollinatori	58.210 €	275.738 €
	Alberi per ombreggiamento e raffrescamento	26 €	757 €
	Electro wetland roof	19.028 €	217.104 €
	Tetto verde	/	/
	Moduli compattati per impollinatori	5 €	151 €
	Bio-filtro da giardino urbano	/	/
	Suolo intelligente come substrato	2.927 €	42.528 €
	TOT	80.196 €	536.278 €
	Rinaturalizzazione dei parcheggi con alberi	38.560 €	49.572 €
	Rain gardens/SuDS	896 €	45.620 €
	Urban carbon sink	97.060 €	1.495.130 €
	Moduli naturali per impollinatori	/	/
	Moduli compattati per impollinatori	/	/
	Orti urbani	728 €	8.853 €
	TOT	137.244 €	1.599.175 €

3.2 Valutazione monetaria dei SE a Liverpool

A Liverpool, le NBS sono state attuate in tre siti dimostrativi, ciascuno caratterizzato da interventi che rafforzano i servizi di regolazione, di approvvigionamento e culturali (Tabella 6).

Tabella 6. NBS e SE valutati a Liverpool

	NBS	SE associati
SUB DEMO A	Pista ciclo-pedonale verde	Ricreazione e salute fisica e mentale
	Alberi per raffrescamento e ombreggiamento	Sequestro e stoccaggio del carbonio; Regolazione della qualità dell'aria; Regolazione dei flussi idrici; Regolazione climatica locale; Ricreazione e salute fisica e mentale; Apprezzamento estetico e ispirazione per cultura, arte e design; Esperienza spirituale e senso di appartenenza al luogo
	Rain garden SuDS e HDP	Fornitura di acqua dolce; Sequestro e stoccaggio del carbonio; Regolazione della qualità dell'aria; Regolazione dei flussi idrici; Trattamento delle acque reflue; Regolazione climatica locale; Moderazione degli eventi estremi; Habitat per specie; Apprezzamento estetico e ispirazione per cultura, arte e design
	Suolo intelligente per gestione e rilascio nutrienti	/
	Bordi stradali per impollinatori	/
	Pareti per impollinatori verticali	Materie prime; Sequestro e stoccaggio del carbonio; Regolazione della qualità dell'aria; Regolazione climatica locale; Apprezzamento estetico e ispirazione per cultura, arte e design
	Giardini galleggianti	/
	Pavimentazioni drenanti	/
	Aree verdi di sosta	Sequestro e stoccaggio del carbonio; Regolazione della qualità dell'aria; Regolazione dei flussi idrici; Regolazione climatica locale; Esperienza spirituale e senso di appartenenza al luogo
SUB DEMO B	Percorso verde	Ricreazione e salute fisica e mentale
	Forestazione urbana, carbon sink e alberi da ombra	Sequestro e stoccaggio del carbonio; Regolazione della qualità dell'aria; Regolazione dei flussi idrici; Regolazione climatica locale; Ricreazione e salute fisica e mentale; Apprezzamento estetico e ispirazione per cultura, arte e design; Esperienza spirituale e senso di appartenenza al luogo
	Pavimentazioni drenanti	/
	Pareti per impollinatori verticali	Materie prime; Sequestro e stoccaggio del carbonio; Regolazione della qualità dell'aria; Regolazione climatica locale; Apprezzamento estetico e ispirazione per cultura, arte e design
	Area filtro verde	/
SUB DEMO C	Nuova pista ciclo-pedonale verde	Ricreazione e salute fisica e mentale
	Miglioramenti pedonali agli incroci / stradali	
	Forestazione urbana, carbon sink e alberi da ombra	Sequestro e stoccaggio del carbonio; Regolazione della qualità dell'aria; Regolazione dei flussi idrici; Regolazione climatica locale; Ricreazione e salute fisica e mentale; Apprezzamento estetico e ispirazione per cultura, arte e design; Esperienza spirituale e senso di appartenenza al luogo

Segue Tabella 6. NBS e SE valutati a Liverpool

SUB DEMO C	NBS	SE associati
	Rain garden, SuDS	Fornitura di acqua dolce; Sequestro e stoccaggio del carbonio; Regolazione della qualità dell'aria; Regolazione dei flussi idrici; Trattamento delle acque reflue; Regolazione climatica locale; Moderazione degli eventi estremi; Habitat per specie; Apprezzamento estetico e ispirazione per cultura, arte e design
	Pavimentazioni drenanti	/
	Suolo intelligente per gestione e rilascio nutrienti	/
	Bordi stradali per impollinatori	/
	Giardini galleggianti	/

Nel Sub-demo A, le principali NBS comprendono una nuova pista ciclo-pedonale verde, alberi per ombreggiamento e raffrescamento, rain gardens, pareti per impollinatori e aree verdi di sosta. I SE associati a questi interventi includevano servizi di regolazione quali sequestro e stoccaggio del carbonio, regolazione della qualità dell'aria, regolazione dei flussi idrici, regolazione climatica locale, trattamento delle acque reflue e moderazione degli eventi estremi. Sono stati inoltre considerati servizi di approvvigionamento, come le materie prime, insieme a servizi culturali quali ricreazione, apprezzamento estetico ed esperienza spirituale. Il valore annuale generato nel Sub-demo A varia tra 12.802 € e 168.295 € all'anno, con una mediana di 90.549 € all'anno (Tabella 7).

Nel Sub-demo B, gli interventi comprendono un percorso verde e attività di forestazione urbana con alberi da ombra. Questi erano associati a servizi di regolazione (sequestro e stoccaggio del carbonio, regolazione della qualità dell'aria, regolazione idrica, regolazione climatica) e a servizi culturali (ricreazione, apprezzamento estetico ed esperienza spirituale). Il valore stimato per questo *demo site* varia tra 28.195 € e 1.490.699 € all'anno, con una mediana di 759.447 € all'anno.

Il Sub-demo C comprende nuove piste ciclo-pedonali, forestazione urbana e rain gardens del tipo SuDS. Questi interventi fornivano servizi di regolazione quali sequestro del carbonio e regolazione climatica, servizi culturali quali ricreazione e apprezzamento estetico, oltre alla fornitura di habitat. Il valore prodotto nel Sub-demo C è stato stimato tra 34.165 € e 473.462 € all'anno, con una mediana di 253.814 € all'anno.

Complessivamente, il valore economico annuale aggregato delle NBS a Liverpool varia tra 75.162 € e 2.132.456 € all'anno, con una mediana di 1.103.809 € all'anno. Il contributo maggiore proveniva dal Sub-demo B, principalmente grazie all'impatto della forestazione urbana e degli alberi da ombra, che forniscono valori elevati sia nelle dimensioni regolative sia in quelle culturali.

Tabella 7. Valutazione economica delle NBS implementate

SUB DEMO A	NBS	VET annuali min-max	
	Pista ciclo-pedonale verde	1.016 €	17.560 €
	Alberi per raffrescamento e ombreggiamento	6.141 €	10.325 €
	Rain garden SuDS e HDP	372 €	18.403 €
	Suolo intelligente per gestione e rilascio nutrienti	/	/
	Bordi stradali per impollinatori	3.060 €	90.840 €
	Pareti per impollinatori verticali	272 €	1.264 €

Segue Tabella 7. Valutazione economica delle NBS implementate a Liverpool

NBS		VET annuali min-max	
SUB DEMO A	Giardini galleggianti	/	/
	Pavimentazioni drenanti	/	/
	Aree verdi di sosta	1.941 €	29.903 €
	TOT	12.802 €	168.295 €
SUB DEMO B	Percorso verde	15.240 €	263.400 €
	Forestazione urbana	12.955 €	1.227.299 €
	Pavimentazioni drenanti	/	/
	Pareti per impollinatori verticali	/	/
	TOT	28.195 €	1.490.699 €
SUB DEMO C	Nuova pista ciclo-pedonale verde	24.384 €	421.440 €
	Miglioramenti pedonali agli incroci stradali	/	/
	Forestazione urbana	9.050 €	15.216 €
	Rain garden, SuDS	731 €	36.806 €
	Pavimentazioni drenanti	/	/
	Suolo intelligente per gestione e rilascio nutrienti	/	/
	Bordi stradali per impollinatori	/	/
	Giardini galleggianti	/	/
	TOT	34.165 €	473.462 €

3.3 Valutazione monetaria dei SE a Izmir

A Izmir sono stati considerati tre siti dimostrativi, ciascuno comprendente NBS che generano diverse categorie di SE (Tabella 8).

Tabella 8. NBS e ES valutati a Izmir

NBS		SE associati
SUB DEMO A	Aree arboree	/
	Copertura verde dei parcheggi	/
	Pavimentazioni drenanti	Sequestro e stoccaggio del carbonio; Regolazione della qualità dell'aria; Regolazione dei flussi idrici; Trattamento delle acque reflue; Regolazione climatica locale; Moderazione degli eventi estremi; Habitat per specie; Apprezzamento estetico e ispirazione per cultura, arte e design
	Strutture verdi ombreggianti e Suolo / intelligente	

Segue Tabella 8. NBS e ES valutati a Izmir

	NBS	SE associati
SUB A	Installazione di parklets	Sequestro e stoccaggio del carbonio; Regolazione della qualità dell'aria; Regolazione dei flussi idrici; Regolazione climatica locale; Esperienza spirituale e <i>senso di appartenenza al luogo</i>
	Canali filtranti erbosi e bacini di ritenzione idrica lungo il bio-boulevard	Fornitura di acqua dolce; Sequestro e stoccaggio del carbonio; Regolazione della qualità dell'aria; Regolazione dei flussi idrici; Trattamento delle acque reflue; Regolazione climatica locale; Moderazione degli eventi estremi; Habitat per specie; Apprezzamento estetico e ispirazione per cultura, arte e design
SUB DEMO B	Moduli naturali per impollinatori	/
	Serre climaticamente intelligenti	/
	Bio-boulevard	/
SUB DEMO C	Piantumazione di 4.800 alberi	Sequestro e stoccaggio del carbonio; Regolazione della qualità dell'aria; Regolazione dei flussi idrici; Regolazione climatica locale; Ricreazione e salute fisica e mentale; Apprezzamento estetico e ispirazione per cultura, arte e design; Esperienza spirituale e <i>senso di appartenenza al luogo</i>
	Pavimentazioni verdi lungo il fiume Peynircioğlu	Fornitura di acqua dolce; Sequestro e stoccaggio del carbonio; Regolazione della qualità dell'aria; Regolazione dei flussi idrici; Trattamento delle acque reflue; Regolazione climatica locale; Moderazione degli eventi estremi; Habitat per specie; Apprezzamento estetico e ispirazione per cultura, arte e design
	Recinzioni verdi	/
	Realizzazione di fruit walls	Fornitura di cibo; Regolazione dei flussi idrici
	Percorso ciclo-pedonale nel nuovo corridoio verde	Ricreazione e salute fisica e mentale
	Lavori di canalizzazione sul fiume Peynircioğlu	/

Nel Sub-demo A, le principali NBS realizzate consistono in pavimentazioni drenanti, associati a servizi di regolazione quali sequestro del carbonio, regolazione della qualità dell'aria, regolazione dei flussi idrici, regolazione climatica locale, trattamento delle acque reflue, moderazione degli eventi estremi e fornitura di habitat, oltre a servizi culturali quali apprezzamento estetico ed esperienza spirituale. I valori annuali stimati per questo sito variano tra 173.301-376.250 € all'anno, con una mediana di 285.496 € all'anno (Tabella 9).

Nel Sub-demo B, sono stati realizzati canali filtranti erbosi (*grassed swales*) e bacini di ritenzione idrica. Questi interventi erano associati a servizi di regolazione (fornitura di acqua dolce, sequestro del carbonio, regolazione della qualità dell'aria, regolazione idrica, trattamento delle acque reflue, regolazione climatica, moderazione degli eventi estremi, fornitura di habitat) e a servizi culturali (apprezzamento estetico e ispirazione). I valori annuali per il Sub-demo B variano tra 2.465 € e 125.456 € all'anno, con una mediana di 63.961 € all'anno.

Il Sub-demo C comprende piantumazioni arboree su larga scala, l'installazione di pavimentazioni verdi lungo il fiume Peynircioğlu, la realizzazione di frutteti verticali (*fruit walls*) e la creazione di un corridoio verde ciclo-pedonale. Queste NBS forniscono servizi di regolazione (sequestro del carbonio, regolazione della qualità dell'aria, regolazione idrica, trattamento delle acque reflue, regolazione climatica, moderazione degli eventi estremi, fornitura di habitat), servizi di approvvigionamento (fornitura di cibo) e servizi culturali (ricreazione, apprezzamento estetico e ispirazione). Il valore economico generato dal Sub-demo C variava tra 971.803 € e 3.203.957 € all'anno, con una mediana di 2.087.880 € all'anno.

Su scala urbana, il valore totale generato dalle NBS realizzate a Izmir varia tra 1.147.569 € e 3.705.663 € all'anno, con una mediana di 2.426.616 € all'anno. Tra i tre siti dimostrativi, il Sub-demo C forniva di gran lunga il contributo più elevato, riflettendo la scala e l'intensità dell'intervento di forestazione e i relativi SE.

Tabella 9. Valutazione economica delle NBS implementate a Izmir

NBS		VET annuali min-max	
SUB DEMO A	Aree arboree	/	/
	Copertura verde dei parcheggi	/	/
	Pavimentazioni fresche	170.389 €	331.396 €
	Strutture verdi ombreggianti e Suolo intelligente	/	/
	Installazione di parklets	2.912 €	44.854 €
	TOT	173.301 €	376.250 €
SUB DEMO B	Canali filtranti erbosi e bacini di ritenzione idrica	2.465 €	125.456 €
	Moduli naturali per impollinatori	/	/
	Serre climaticamente intelligenti	/	/
	Bio-boulevard	/	/
	TOT	2.465 €	125.456 €
SUB DEMO C	Piantumazione di 4.800 alberi	934.171 €	2.340.192 €
	Pavimentazioni verdi lungo il fiume Peynircioğlu	6.454 €	328.466 €
	Recinzioni verdi	/	/
	Realizzazione di fruit walls	698 €	8.499 €
	Percorso ciclo-pedonale nel nuovo corridoio verde	30.480 €	526.800 €
	Lavori di canalizzazione sul fiume Peynircioğlu	/	/
	TOT	971.803 €	3.203.957 €

4. Discussioni

La valutazione condotta a Valladolid, Liverpool e Izmir dimostra la capacità dell'approccio BT di generare evidenze rilevanti per le politiche in merito al valore economico dei SE forniti dalle NBS. I risultati offrono un quadro coerente per l'aggregazione di valori eterogenei di SE, mettendo al contempo in luce le sfide metodologiche legate all'eterogeneità degli studi primari e alle differenze tra siti di studio e siti di policy.

A Valladolid, il valore economico annuale complessivo delle NBS è stato stimato tra 325.236 € e 2.450.863 € all'anno, con una mediana di 1.388.050 € all'anno. Il contributo maggiore è stato associato al Sub-demo C, dove la pianificazione di un urban carbon sink ha prodotto rilevanti benefici di regolazione. Tuttavia, l'ampio divario tra stime minime e massime riflette la variabilità metodologica degli studi primari sottostanti, in particolare per la regolazione climatica locale e per i SE culturali.

Liverpool ha registrato valori assoluti più bassi, compresi tra 75.162 € e 2.132.456 € all'anno, con una mediana di 1.103.809 € all'anno. Il maggiore contributo è stato fornito dal Sub-demo B, caratterizzato da interventi di forestazione urbana e alberi da ombra. I SE di regolazione, come il sequestro del carbonio e la regolazione della qualità dell'aria, sono risultati valutati con maggiore coerenza, mentre i SE culturali, quali ricreazione e apprezzamento estetico, hanno mostrato una variabilità più ampia a seconda dell'approccio valutativo adottato. Izmir ha prodotto le stime più elevate, con un intervallo complessivo tra € 1.147.569 – €3.705.663 € all'anno e una mediana di 2.426.616 € all'anno. Il contributo più significativo è stato registrato nel Sub-demo C, dove la piantumazione su larga scala e l'installazione di pavimentazioni verdi hanno generato rilevanti benefici sia regolativi sia culturali. La scala degli interventi ha amplificato sia i valori assoluti sia la differenza tra stime minime e massime, sottolineando ancora una volta la sensibilità del BT all'eterogeneità degli studi di valutazione primaria.

Il confronto tra le tre città evidenzia sia pattern comuni sia differenze specifiche di contesto. In tutti i casi, i servizi di regolazione, quali sequestro del carbonio e regolazione climatica, hanno rappresentato la quota maggiore dei valori economici stimati, mentre i SE culturali hanno mostrato la maggiore variabilità tra valori minimi e massimi. I servizi di approvvigionamento hanno avuto un ruolo marginale, limitato a interventi specifici come gli orti a Valladolid e i *fruit walls* a Izmir. I risultati comparativi, riassunti nella Tabella 10, mostrano come Valladolid presenti valori intermedi ma molto dispersi, Liverpool generi valori assoluti inferiori con una concentrazione di benefici in un singolo demo site, mentre Izmir produca i totali più elevati, riflettendo la scala degli interventi pianificati.

Tabella 10. Sintesi comparativa della valutazione economica delle NBS a Valladolid, Liverpool e Izmir

Città	VET annuale (min-max) (€)	Mediana (€)
Valladolid	325.236 - 2.450.863	1.388.050
Liverpool	75.162 - 2.132.456	1.103.809
Izmir	1.147.569 - 3.705.663	2.426.616

Da una prospettiva metodologica, l'applicazione del BT nelle tre città analizzate mette in evidenza sia i vantaggi sia i limiti di questo approccio. Il principale vantaggio risiede nella capacità di fornire stime monetarie dei SE in contesti in cui gli studi di valutazione primaria risulterebbero troppo onerosi in termini di risorse, caratteristica ampiamente riconosciuta nelle valutazioni ecosistemiche a livello nazionale e regionale (EEA, 2010; UK NEA, 2011). Inoltre, applicando un protocollo di valutazione uniforme, il BT consente la comparabilità tra siti e facilita l'aggregazione di valori eterogenei di SE in misure di VET.

Tuttavia, emergono anche limiti significativi. L'accuratezza dei valori trasferiti dipende in modo critico dalla qualità e dalla rappresentatività degli studi primari utilizzati, e gli errori di trasferimento sono più probabili quando le condizioni socioeconomiche o ecologiche divergono tra siti di studio e siti di policy (Rosenberger & Loomis, 2003; Johnston et al., 2015). Un'ulteriore fonte di variabilità è legata alle metodologie applicate negli studi primari. Approcci come la valutazione contingente e altri metodi basati su preferenze dichiarate sono intrinsecamente legati al contesto, in quanto si fondano sulle percezioni individuali, sulle preferenze culturali e sulle caratteristiche socioeconomiche degli intervistati. Come ampiamente riconosciuto in letteratura, tali metodi tendono a produrre valori che variano sostanzialmente tra i contesti, a causa di differenze nelle norme culturali, nei livelli di reddito e negli assetti istituzionali (Bateman et al., 2002; Hanley et al., 2003; Champ et al., 2017). Quando trasferiti tramite BT senza adeguati aggiustamenti, questi elementi contestuali possono amplificare l'incertezza delle stime, in particolare per i SE culturali, dove la disponibilità a pagare e le percezioni di valore sono altamente eterogenee.

Inoltre, le performance delle NBS stesse sono fortemente influenzate dalle condizioni territoriali e climatiche. Ad esempio, l'effetto regolativo degli alberi urbani sul clima e sulla qualità dell'aria dipende non solo dal numero di alberi piantati, ma anche da fattori quali specie, età, distribuzione spaziale e morfologia urbana circostante (Escobedo et al., 2011; Baró et al., 2014). Analogamente, il valore culturale degli spazi verdi è modellato da tradizioni locali, pratiche ricreative e livelli di coinvolgimento comunitario (Kabisch et al., 2016). Trasferendo valori da contesti differenti, il BT tende a oscurare queste specificità locali nelle performance delle NBS, portando a possibili distorsioni nella rappresentazione dei benefici effettivi nei siti di policy. Questo problema, più volte sottolineato in letteratura, evidenzia l'importanza di combinare il BT con aggiustamenti sensibili al contesto e, ove possibile, con dati di monitoraggio sito-specifici per catturare meglio l'eterogeneità degli esiti delle NBS (Plummer, 2009; Schaegner et al., 2013; Brander et al., 2017).

Nel complesso, i risultati confermano che il BT rappresenta un approccio praticabile per produrre evidenze sintetiche sul valore economico delle NBS in contesti urbani. Tali valori possono costituire un riferimento operativo per i tecnici comunali e i pianificatori, facilitando la valutazione comparativa di interventi alternativi e l'integrazione dei benefici ecosistemici nei processi decisionali. Allo stesso tempo, sottolineano la necessità di perfezionamenti metodologici e dello sviluppo di protocolli di valutazione armonizzati, per ridurre l'incertezza nella stima delle categorie di SE particolarmente sensibili all'eterogeneità socioculturale ed ecologica (Brander et al., 2006; Navrud & Ready, 2007).

5. Conclusioni

La valutazione ex-post condotta a Valladolid, Liverpool e Izmir fornisce evidenze quantitative che dimostrano come l'implementazione delle NBS possa generare rilevanti benefici socioeconomici e ambientali su scala urbana. Attraverso l'applicazione del metodo BT, lo studio ha contribuito a stimare il valore economico di molteplici SE, rafforzando la comprensione del ruolo multifunzionale delle NBS nel rispondere alle sfide urbane e nel supportare gli obiettivi di sostenibilità.

Allo stesso tempo, sono state identificate alcune limitazioni metodologiche. In primo luogo, l'analisi non ha potuto considerare l'intero spettro dei SE potenzialmente forniti dalle NBS pianificate, a causa della limitata disponibilità di studi di valutazione nella letteratura, in particolare per i servizi di approvvigionamento, di supporto e culturali. Queste categorie rivestono una rilevanza specifica, poiché i SE culturali sono strettamente collegati alla salute pubblica, al benessere e alla coesione sociale. In secondo luogo, l'eterogeneità delle metodologie applicate negli studi primari ha determinato una considerevole variabilità nei valori trasferiti, riflessa nell'ampiezza degli intervalli tra stime minime e massime. In terzo luogo, l'assenza di dati di monitoraggio coerenti nelle Front-runner cities ha limitato la possibilità di aggiustare i valori trasferiti alle condizioni sito-specifiche, riducendo così la robustezza e la comparabilità delle stime.

Nonostante questi vincoli, i risultati confermano che le NBS possono fornire un ampio ventaglio di benefici socioeconomici ed ecologici, con importanti implicazioni per la pianificazione urbana e la progettazione di politiche. Lo studio dimostra la fattibilità del BT come approccio di second best per supportare i processi decisionali laddove la valutazione primaria non sia realizzabile, sottolineando al contempo la necessità di un continuo perfezionamento delle metodologie. Le ricerche future dovrebbero quindi prioritariamente sviluppare protocolli di valutazione armonizzati, ampliare l'evidenza empirica soprattutto per le categorie di SE sottorappresentate, e integrare dati di monitoraggio sistematici. Tali sviluppi rafforzerebbero l'affidabilità delle valutazioni ex-post e sosterranno la formulazione di politiche e strategie di investimento che riflettano l'intera gamma di benefici generati dalle NBS in contesti urbani.

Bibliografia

- Almenar J.B., Elliot T., Rugani B., Philippe B., Navarrete A., Sonnemann G. & Geneletti D. (2021). Nexus between nature-based solutions, ecosystem services and urban challenges. *Ecosystem Services*, 50, 101350. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2021.101350>
- Aries for Seaa Explorer. Available online: <https://aries.integratedmodelling.org/> (accessed on 4 August 2022)

- Braat L.C. & de Groot R. (2012). The ecosystem services agenda: Bridging the worlds of natural science and economics, conservation and development, and public and private policy. *Ecosystem Services*, 1(1), 4–15. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2012.07.011>
- Brander L.M. (2013). Ecosystem service values and their role in decision-making. *Ecosystem Services*, 1(1), 61–65. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2012.12.001>
- Brander L.M., Florax R.J.G.M. & Vermaat J.E. (2006). The empirics of ecosystem service valuation: A comprehensive meta-analysis of the value of ecosystems and biodiversity. *Ecological Economics*, 61(2–3), 250–259. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2006.01.003>
- Camps-Calvet M., Langemeyer J., Calvet-Mir L. & Gómez-Baggethun E. (2016). Ecosystem services provided by urban gardens in Barcelona, Spain: Insights for policy and planning. *Environmental Science & Policy*, 62, 14–23. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2016.01.007>
- Carter T. (2011). The potential of urban greening in the urban heat island effect. *Urban Ecosystems*, 14(3), 295–308. <https://doi.org/10.1007/s11252-011-0172-5>
- Collier P. & Dollar D. (2002). Aid allocation and poverty reduction. *European Economic Review*, 46(8), 1475–1500. [https://doi.org/10.1016/S0014-2921\(01\)00187-8](https://doi.org/10.1016/S0014-2921(01)00187-8)
- Croci E., Lucchitta B. & Penati T. (2021). Valuing ES at the urban level: a critical review. *Sustainability*, 13(3), 1129. <https://doi.org/10.3390/su13063339>
- Culhane F.E., Teixeira H., Nogueira A.J.A., Borgwardt F., Trauner D., Lillebø A.I. ... & O'Higgins T. (2019). Risk to the supply of ecosystem services across aquatic ecosystems. *Science of the Total Environment*, 660, 611–621. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.12.346>
- Dasgupta P. (2021). The economics of biodiversity: the Dasgupta review. Hm Treasury.
- De Groot R.S., Wilson M.A. & Boumans R.M.J. (2002). A typology for the classification, description and valuation of ecosystem functions, goods and services. *Ecological Economics*, 41(3), 393–408. [https://doi.org/10.1016/S0921-8009\(02\)00089-7](https://doi.org/10.1016/S0921-8009(02)00089-7)
- EEA. (2010). *Ecosystem accounting and the cost of biodiversity losses – The case of coastal Mediterranean wetlands*. European Environment Agency.
- European Commission (2013). Directorate General for the Environment. In Mapping and Assessment of Ecosystems and Their Services: An Analytical Framework for Ecosystem Assessments under Action 5 of the EU Biodiversity Strategy to 2020; Publications Office: Luxembourg.
- European Commission (2016). Directorate General for the Environment. In Mapping and Assessment of Ecosystems and Their Services; Urban Ecosystems, 4th Report; Publications Office: Luxembourg.
- European Commission (2021). Evaluating the impact of nature-based solutions: a handbook for practitioners, Publications Office of the European Union. <https://data.europa.eu/doi/10.2777/244577>
- Invest. Available online: <https://naturalcapitalproject.stanford.edu/software/invest> (accessed on 4 August 2022)
- IPBES (2022). Summary for policymakers of the methodological assessment of the diverse values and valuation of nature of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and ES. U. Pascual, P. Balvanera, M. Christie, B. Baptiste, D. González-Jiménez, C.B. Anderson S. Athayde R. Chaplin-Kramer S. Jacobs, E. Kelemen, R. Kumar, E. Lazos, A. Martin, T.H. Mwampamba, B. Nakangu, P. O'Farrell, C.M. Raymond S.M. Subramanian, M. Termansen, M. Van Noordwijk, A. Vatn (eds.). IPBES secretariat, Bonn, Germany. 37 pages. <https://doi.org/10.5281/zenodo.6522392>
- ISO (2019). Monetary valuation of environmental impacts and related environmental aspects. ISO 14008:2019. Retrieved from <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:14008:ed-1:v1:en>
- Johnston R. J., Rolfe J., Rosenberger R. S. & Brouwer R. (2015). *Benefit transfer of environmental and resource values: A guide for researchers and practitioners*. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-94-017-9930-0>
- Lam-González Y. E., León C.J., de León J. & Araña J.E. (2022). Benefit transfer for ecosystem services valuation: A review of current research and future challenges. *Ecosystem Services*, 55, 101420. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2022.101420>
- Lategan L.G., Steynberg Z., Cilliers E.J. & Cilliers S.S. (2022). Economic Valuation of Urban Green Spaces across a Socioeconomic Gradient: A South African Case Study. *Land*, 11(3), 413.
- LIFE N2K Wales (2015). Calculating the economic values of the ES provided by Natura 2000 features

- and sites in Wales. Action A9: LIFE N2K Wales: LIFE 11 NAT/UK/385.
- Majidi N., Yigitcanlar T., Guaralda M. & Ioppolo G. (2019). Place quality and urban health: A cross-sectional study of built environment quality and perceived general health in Brisbane, Australia. *Cities*, 89, 44–52. <https://doi.org/10.1016/j.cities.2019.01.023>
- Muradian R., Corbera E., Pascual U., Kosoy N. & May P.H. (2010). Reconciling theory and practice: An alternative conceptual framework for understanding payments for environmental services. *Ecological Economics*, 69(6), 1202–1208. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2009.11.006>
- National Research Council (2005). Valuing ES: toward better environmental decision-making. National Academies Press.
- Navrud S. & Ready R.C. (2007). Environmental value transfer: Issues and methods. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-1-4020-5405-4>
- Ozdemiroglu E., Tinch R., Johns H., Provins A., Powell J.C., Twigger-Ross C. (2006). Valuing Our Natural Environment—Final Report; EFTEC: London, UK.
- Pandeya B., Buytaert W., Zulkafli Z., Karpouzoglou T., Mao F. & Hannah D.M. (2016). A comparative analysis of ES valuation approaches for application at the local scale and in data scarce regions. *ES*, 22, 250–259.
- Pascual U., Muradian R., Brander L., Gómez-Baggethun E., Martín-López B., Verma M. ... & May P.H. (2010). The economics of valuing ecosystem services and biodiversity. In Kumar P. (Ed.), *The Economics of Ecosystems and Biodiversity: Ecological and Economic Foundations* (pp. 183–256). Routledge.
- Pisani D., Paziienza P., Perrino E.V., Caporale D. & De Lucia C. (2021). The Economic Valuation of ES of Biodiversity Components in Protected Areas: A Review for a Framework of Analysis for the Gargano National Park. *Sustainability*, 13(21), 11726. <https://doi.org/10.3390/su132111726>
- Potschin M., Kretsch C., Haines-Young R.E., Furman, Berry P., Baró F. (2015). Nature-based solutions. In: Potschin M. and K. Jax (eds): OpenNESS ES Reference Book. EC FP7 Grant Agreement no. 308428.
- Rosenberger R.S. & Loomis J.B. (2003). Benefit transfer. In P.A. Champ, K.J. Boyle & T.C. Brown (Eds.), *A primer on nonmarket valuation* (pp. 445–482). Springer. https://doi.org/10.1007/978-94-007-0826-6_14
- Schaegner J., Brander L., Maes J., Hartjed V. Mapping Ecosystem Services' Values: Current Practice and Future Prospects. *ECOSYSTEM SERVICES* 4; 2013. p. 33–46. JRC73266
- Selivanov E., Hlaváčková P. (2021): Methods for monetary valuation of ES: A scoping review. *J. For. Sci.*, 67: 499–511. <https://doi.org/10.17221/96/2021-JFS>
- Simpson W. (1998). Urban ecosystem management in an era of rapid change. *Landscape and Urban Planning*, 42(2–4), 85–90. [https://doi.org/10.1016/S0169-2046\(98\)00080-2](https://doi.org/10.1016/S0169-2046(98)00080-2)
- Small N., Munday M. & Durance I. (2017). The challenge of valuing ecosystem services that have no material benefits. *Global Environmental Change*, 44, 57–67. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2017.03.005>
- Social Values for ES (SolVES). Available online: <https://www.usgs.gov/centers/gecsc/science/> (accessed on 4 August 2022)
- Sukhdev P., Wittmer H., Schröter-Schlaack C., Neßhöver C., Bishop J., Ten Brink P., Gundimeda H., Kumar P., Simmons B. (2010). Mainstreaming the Economics of Nature: A Synthesis of the Approach, Conclusions and Recommendations of TEEB; UNEP: Nairobi, Kenya.
- TEEB, 2010. In: Kumar P. (Ed.), *The Economics of Ecosystems and Biodiversity: Ecological and Economic Foundations*. Earthscan, London and Washington DC.
- UK National Ecosystem Assessment (UK NEA). (2011). *The UK National Ecosystem Assessment: Synthesis of the Key Findings*. UNEP-WCMC.
- United Nations (2014). System of Environmental-Economic Accounting 2012—Central Framework; United Nations: New, York, NY, USA.