

Urban rent control: a decision support tool for the optimal resources allocation between Urban Forest Projects

Maria Rosaria Guarini*, Antonio Nesticò**,
Pierluigi Morano***, Francesco Sica****

keywords: sustainable development; land use;
economic evaluation; urban forestry projects;
multi-criteria decision analysis; continue linear programming

Abstract

Green areas in urban agglomerations are strategic resource for the sustainable city development. The implementation of Urban Forestry Projects (UFP) allows on the one hand to raise the environmental quality level, improving the microclimate and preserving biodiversity, on the other hand to promote urban regeneration and promote socio-economic development by creating eco-systemic services for the population. The result is a more rational land use and an increase in real estate values.

Although the EU Directives show the need to promote the sustainable territory growth through the recovery and redevelopment of the built environment, the implementation of investments based on eco-system

logic is rarely counted as a priority action for the city, often preferring a different allocation of available resources.

The present work aims first to define an indicators set useful to express the value components – financial, social, cultural and ecological-environmental – for the UFP. These indicators are the reference terms for the characterization of an innovative protocol of multi-criteria analysis for the public operator who wants to establish the optimal distribution of funds between UFP units in limited areas of the urban fabric. The protocol uses the algorithms of mathematical programming and is tested on a case study about urban areas to be redeveloped.

1. INTRODUCTION

1.1 Integrated urban sustainable development

Since the end of the Second World War, the growth of many cities, both European and not, has often taken

place in an uncontrolled manner, restoring over time a territory with: increasingly large, frayed and densely populated urban areas (urban sprawl); uncertain or even poor-quality real estate; insufficient services and infrastructure levels; limited green areas

(Termorshuizen et al., 2007). In cities there are mixed settlement areas in terms of intended use, buildings density and population, in which there are often also empty urban areas consisting of areas not and / or partially built or abandoned. The spread and dispersion of settlements has led to the increasing occupation of originally agricultural land, natural or semi-natural, in favour of buildings and/or infrastructure (Torre et al., 2017). These factors negatively affect the city's urban organization for differentiation and alteration of ecological, environmental and urban income values, development of productive activities, quality, liveability and social equity of urban contexts (Morano et al., 2018).

This has led, for some time, operators to look for more rational models of soil transformation and control urban income tools (e.g. mechanisms for the optimal resources allocation between alternative use destinations of existing physical and anthropic space; processes of expropriation of urban areas for public use; systems aimed at identifying the best location of productive activities) through new sustainable action strategies based on the integrated management of existing resources, both human and natural. To this end, according to the European Environment Agency (EEA), the territory must be considered as an integrated land system (EEA, 2018), in which the land use components are combined with those of the land cover (European Commission, 2/2007; EEA, 2018).

Since 2007, with the Leipzig Charter (European Commission, 163/2007), the European Member States have promoted sustainable urban development policies through integrated design actions aimed mainly at the recovery and enhancement of the built environment, as well as the rehabilitation of degraded urban areas (European Commission, 2016). The objective is to favour interventions, both on the built up area and on free areas (not and/or partially built up), able to produce effects on society, economy, environment and culture (Konijnendijk et al., 2005; Asara et al., 2015; Gonzàles, 2017).

In 2015, the United Nations approved the Global Agenda for Sustainable Development, setting out 17 Sustainable Development Goals (SdG) that Member States have agreed to pursue by 2030 (ONU, 2015). Among the SdGs, one of which is specifically aimed at «making cities and human settlements inclusive, safe, resilient and sustainable» (SdG 11), it is possible to identify some logical-functional relationships useful for defining intervention policies for integrated sustainable urban development (Fig. 1).

In order to promote the cities sustainability (SdG 11), it is necessary to provide for actions both to address climate change (SdG 13) and to promote social inclusion (SdG 10), the citizens psycho-physical well-being (SdG 3) and economic growth (SdG 8). The pursuit of these objectives can take place through the

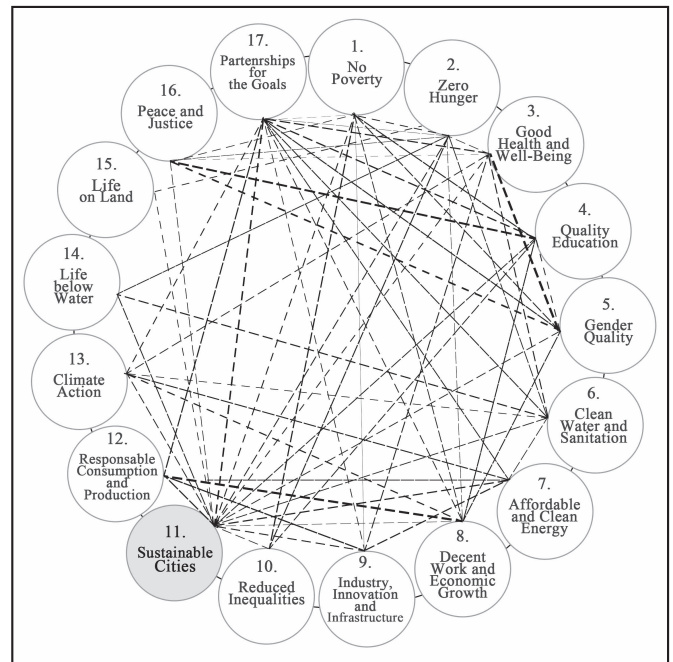


Figure 1 - Relation system between SdG.

production of eco-system services, distinct by the Millennium Ecosystem Assessment (MEA, 2005) in: Support and Regulating services (for the protection and differentiation of existing biotic communities), Provisioning services (for the economic growth of the territory) and Cultural services (for the people psycho-physical well-being) (Fig. 2). In this perspective, urban forest interventions allow to raise the urban quality level as they lead to the creation of eco-systemic services useful for sustainable development in the environmental, economic and social city dimensions (Hansen et al., 2015; Ostoi et al., 2015). In general, Urban Forestry Projects (UFP) are interventions carried out inside and outside metropolitan areas that include trees in urban and peri-urban areas, including private ones, tree-lined avenues and urban parks of different sizes (Endreny, 2018).

The European Union's Forest Strategy (European Commission 659/2013) defines urban and/or peri-urban forest interventions as «[...] multidisciplinary activities that include the design, planning, creation and management of trees, forests, which are usually physically linked to form a mosaic of vegetation within or near built-up areas» (Konijnendijk, 2006). Evidently, the general objectives are both the conservation of the environmental and natural component through less land consumption (Heal et al., 2005), the air quality improvement (Zengh et al., 2013) and the biodiversity conservation (Hardin and Jensen, 2007), and the economic growth of the area through commercial and/or productive activities useful to meet the needs of

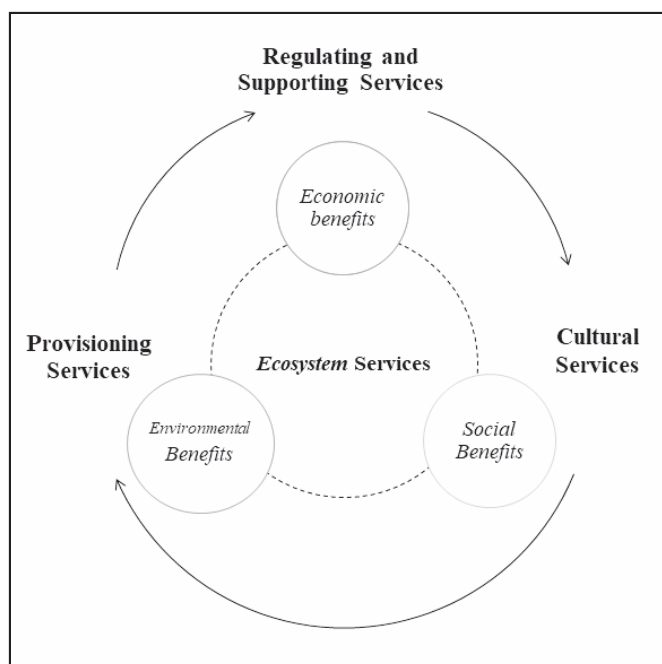


Figure 2 - Ecosystem services types.

the community, as well as socio-cultural development by creating recreational spaces and offering services to the population (Donovan and Butry, 2011).

Based on MEA classification, the Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) has identified 10 Key Issues to be taken into account in the design phase for the execution of urban forest interventions (FAO, 2016). Each of the Key Issues can be expressed with an appropriate evaluation criterion, established on the basis of both the *status quo* of the intervention area and the effects generated on the urban reference context.

It should be noted that in the literature are highlighted as the main effects generated by the UFP in terms of ecosystem services: pollutants removal, carbon storage, microclimate regulation, landscape improvement, biodiversity and soil protection, regulation of the water resources life cycle (Barò et al., 2014; Coutts et al., 2013).

In the settlement transformation processes, the objective of producing multiple effects on the territory makes it necessary to pursue integrated logic, through initiatives that combine the plurality of project objectives with the ecosystem services of urban forestry.

These are actions that take different forms according to the intervention scale: single building, block, urban districts of small/medium size, large land portions (Gómez-Baggethum et al., 2013). In the definition and evaluation of settlement transformation interventions that include urban forest actions, it is necessary to consider three Targets (Van Elegem et al., 2002):

1. provide citizens with a recreational space (*Recreational targets*);
2. encourage the territory development in respect of their economic and settlement vocations (*Structure-Strengthening targets*);
3. preserve the natural component of the area (*Ecological targets*).

By highlighting the logical-functional relationships between Key Issues (FAO, 2016), eco-system services (MEA, 2005) and Targets (Van Elegem et al., 2002), it is possible to establish the prevailing Key Issues at the different project scales (Fig. 3).

There are few examples of settlement transformation projects that include urban forest actions assessed in integrated eco-systemic way (Guarini et al., 2018; Nesticò et al., 2019). This is due to the operators interest in considering either only the financial consequences, or the environmental and social aspects separately, without therefore jointly taking into account the multidimensional effects produced by the initiatives. Only the use of different indicators makes it possible to carry out an integrated multidimensional evaluation in eco-systemic key (Wilson and Howarth, 2002).

As in many application fields (Roy, 1981; Ishizaka and Nemery, 2013), also in the case of UFP, the multicriteria evaluation tools allow to solve, also through the use of specific software, decisional problems of choice concerning, for example, different ways of managing the forest resource (Wolfslehner et al., 2005), project alternatives for environmental protection (Stirn, 2006); the best location of urban forests (Van Elegem et al., 2002); ordering of project alternatives according to pre-established targets (Opricovic et al., 2007; Chu et al., 2007) and optimization solutionsf related to problems, for example, of resource allocation between investment alternatives (Guarini et al., 2018) and strategic land planning (Nesticò et al., 2019). In particular, the algorithms of Operational Research allow to solve (Ishizaka and Nemery, 2013) complex decision patterns with high number of variables and multiple objectives to be pursued simultaneously through the writing of linear expressions between the problem parameters, while respecting specific constraints (Guitouni et al., 1998).

1.2 Aims work

In relation to what has been described above, the study aims to define a model of decision support that allows to identify the best allocation of available monetary resources between interventions to be developed in different urban districts according to the criteria of urban forestation, considering the eco-systemic effects produced by each of the investment alternatives examined. The model is relevant for the public operator who intends to pursue objectives of rational

land use, sustainable development of the territory and control of the formation of urban income, but also for the private operator who wants to increase the market value of real estate through operations to enhance the endowment of collective green.

The following paragraph 2 describes the relations and logical-functional relations of correspondence between Key Issues, types of eco-systemic services and Targets and the indicators recognised in the literature to express the multiple effects deriving from settlement transformation interventions including urban forestation. Paragraph 3 shows the elements of characterization of the proposed model, illustrating: the algorithm of mathematical Programming used; the set of indicators selected for the application of the model; the methods of writing an algorithm of Continuous Linear Programming able to solve the problem of allocation of financial resources; the characterization of the optimization algorithm according to the syntax of the mathematical programming software AMPL. Paragraph 4 contains discussions on the analysis model, which is tested on a case-study. Finally, Section 5 provides conclusions and research perspectives.

2. URBAN FORESTRY PROJECTS. PERFORMANCE INDICATORS FOR SUSTAINABLE DEVELOPMENT

As shown above, Figure 3 relates: Key Issues, Ecosystem Services, Targets and Intervention Design Scales. In particular, the figure intends to highlight how each of the Key Issues can have a different value in the different scales of intervention and that, consequently, some of them can be assumed as prevailing objectives to be pursued. These are elements that make up a reference system useful for selecting the Key Issues during the design phase, which allow investments to be evaluated according to eco-systemic logic. For example, in the case of interventions in neighbourhoods, the prevailing Key Issues to be considered concern ecological-environmental (Food-Nutrition Security, Biodiversity Landscape, Mitigation Land-Soil Degradation), economic (Economic Benefits-Green Economy) and socio-cultural (Socio-Cultural Value) components.

Each Key Issue identified in this way corresponds to one or more performance indicators which, in relation to the evaluation question, make it possible to

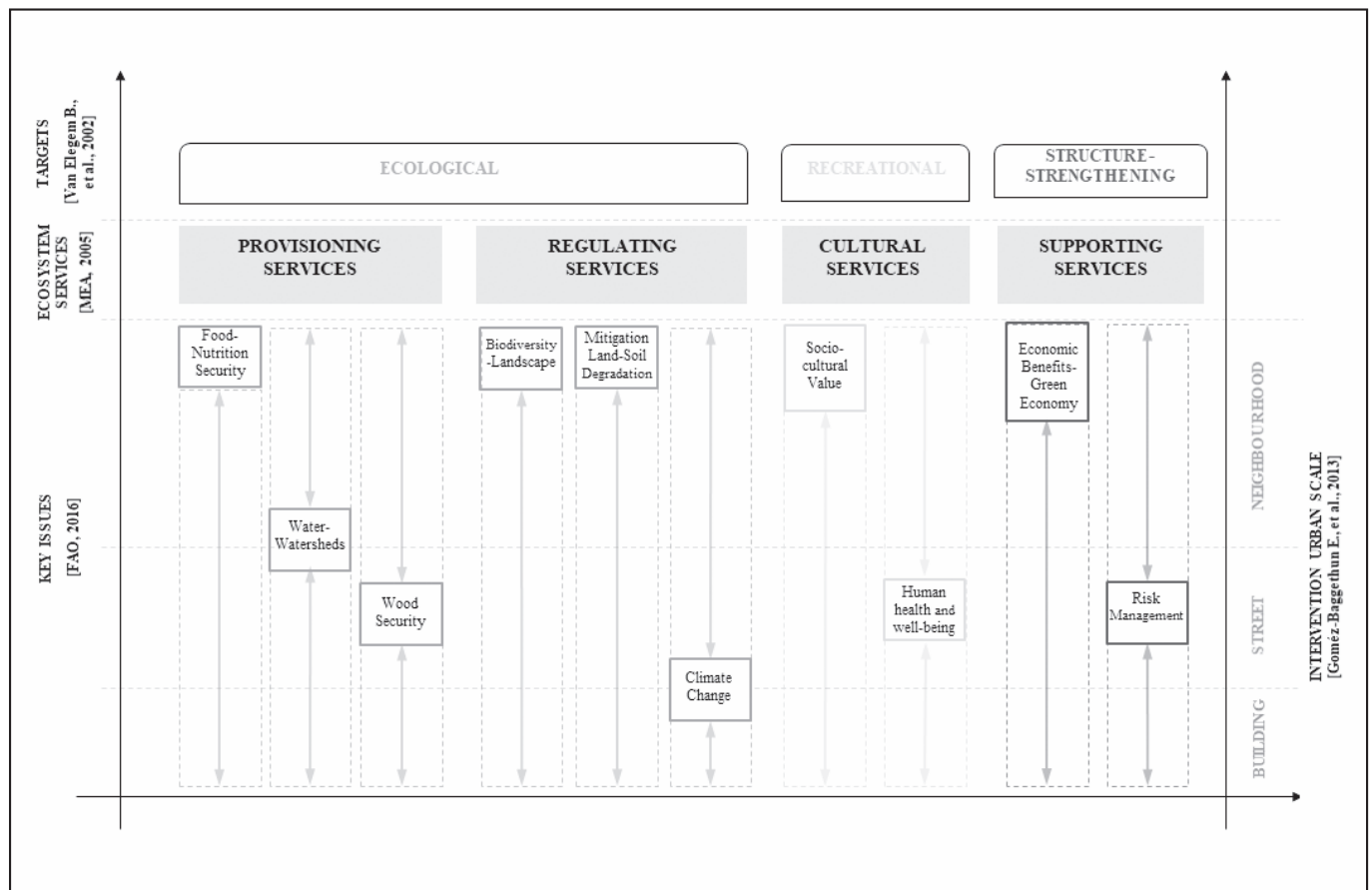


Figure 3 - Key Issues and intervention scale.

determine, qualitatively and/or quantitatively, the effects of the UFP to be achieved.

Table 1 shows, in chronological order, the main indicators – collected through search queries on search engines (scopus, google scholar) – that the authors most considered in the literature on urban forest research have used to assess the impacts by UFP (Clark et al., 1997; De Groot et al., 2010; Dobbs et al., 2011; Kenney et al., 2011; Barron et al., 2016). In addition, the reports of the set of indicators measured with:

- Key Issues (FAO, 2016),
- Ecosystem Services (MEA, 2005),
- Target (Van Elegem et al., 2002),

- Design scale.

A wide indicators set emerges, which sometimes, although referred to a similar performance, are named differently by various authors. These indicators allow both to characterize the context in which the intervention falls and to express a multi-criteria judgment on the eco-systemic services obtained through forestation (Goméz-Baggethun et al., 2013).

It should be noted that at the beginning of the second half of the last century, the indicators were mainly related to ecological-environmental evaluation issues (Clark et al., 1997; Dobbs et al., 2011; Kenney et al., 2011) and rarely of a financial, social or cultural nature (Van Oudenhoven et al., 2002; Koske et al., 2012; Barron et

Table 1 - Urban Forest Indicators Set

Target	Ecosystem Services MEA 2005	Key Issues FAO 2016	Indicators Set [Unit of Measure]							Design Scale		
			Clark et al. 1997	Van Oudenhoven et al. 2002	De Groot et al. 2010	Kenney et al. 2011	Dobbs et al. 2011	Koske et al. 2012	Barron S. et al. 2016	Building	Street	Neighbourhood
ECOLOGICAL	PROVISIONING SERVICES	Food-Nutrition Security	Canopy Cover [m ² green areas /m ² area]	Cohesion and Coverage of Land Cover and Landscape Elements [Qualitative Scale]	Presence of Edible Plants and Animals [N° Species]	Relative Canopy Cover [m ² green areas/m ² area]	Tree Canopy [m ² green areas/m ² area]		Canopy Cover [m ² trees/m ² area]			•
		Wood Security	Species Mix [N° Species]			Species Distribution [N° Species]	Tree Structure [N° Species]		Urban Tree Diversity [N° Species]		•	
			Age distribution [N° Age]			Age Distribution	Shannon Index					
	Water-Watersheds			Presence of Water Reservoirs [m ² water areas/ m ² area]							•	•
	REGULATION SERVICES	Climate Change		Carbon Stored in Vegetation, Roots and Soil [% CO ₂ removed]	Extrapolation of Aerosol & Chemicals from the Atmosphere			Air Pollutant removal [% CO ₂ removed]	Biomass Clean Air Provision	Air Quality Improvement	•	•

Follows Table 1 - Urban Forest Indicators Set

Follows Table 1 - Urban Forest Indicators Set

Target	Ecosystem Services MEA 2005	Key Issues FAO 2016	Indicators Set [Unit of Measure]							Design Scale			
			Clark et al. 1997	Van Ondehoven et al. 2002	De Groot et al. 2010	Kenney et al. 2011	Dobbs et al. 2011	Koske et al. 2012	Barron S. et al. 2016	Building	Street	Neighbourhood	
ECOLOGICAL	REGULATION SERVICES	Climate Change		Change in Atmospheric Fine Dust Concentration	Extrapolation of Aerosol & Chemicals from the Atmosphere			Decrease in Air Quality Pm10 removal [%Pm10 removed]	Clean Air Provision	Miglioramento della qualità dell'aria			
				Change in Atmospheric CO ₂ Concentration [% CO ₂ removed]			CO ₂ Sequestration [% CO ₂ removed]	Climate Regulation	Greenhouse Gas Storage/ Sequestration				
							Temperature Reduction		Energy Conservation				
		Biodiversity-Landscape	Native Vegetation [N° Species]		Species Habitat Requirement, Distribution Capacity	Presence of Species or Abiotic Components	Native Vegetation	Ratio of Native Trees	Biodiversity	Habitat Provision			
					Soil Porosity, Moisture Content	Erosion Protection		Soil Infiltration	Water Regulation, Clean water Provision	Storm Water Control			
					Soil Organic Matter Content	Erosion Protection		Soil Infiltration	Soil Erosion Protection	Available Growing Space			
					Soil Water Holding Capacity			Soil Bulk Density					
					Soil Nutrients								
					Soil Fertility								
		STRUCTURES TRENCHING	SUPPORTING SERVICES	Risk Management			Protection against Flood Damage	Condition of Publicly Owned Trees	Crown Dieback Damage to Infrastructure		Tree Risk		
Economic Benefits-Green Economy				Houses Sold at Green Locations	Landscape-Features Attractive Wildlife			Income/Returns from Land-based Production	Property Value Benefits				
RECREATIONAL	SERVICES CULTURAL	Human Health and Well Being		Residential Area at Green Locations			Recreation Cover	Recreation and Eco-Tourism	Human Health/ Well-Being				
		Socio-cultural Value		Noise Level, Accessibility for Recreants, Length of Walking Tracks, Degree of Naturalness, Number and Location of Research Facilities, Visitor Centres and Information Boards		Species Suitability	Leaf Area and Distance to Roads; Recreation Cover	Aesthetic	Visual Access to Nature, Physical Access to Nature				
							Type of Foliage						
						Tree Biomass							

al., 2016). The latter begin to take on greater importance in the first decades of the 21st century, in relation to the growing attention paid to sustainable urban development issues.

As illustrated in Table 1, it is possible to assimilate certain indicators in relation to common performance (categories of performance indicators) into a single designation. These are first to be related to the eco-systemic service type and then to be associated with criteria and sub-criteria classes of various kinds. According to the logical scheme of Fig. 4, these criteria classes (Fig. 4.f) can be traced back to the targets types according to: general objectives to be pursued (Fig. 4.a), sustainability objectives (Fig. 4.b) and eco-systemic service (Fig. 4.c-d).

The complex system of relations between the elements of Figure 4 provides useful support for the construction of multicriteria evaluation models capable of expressing the effects of urban forestation in an eco-systemic key and its repercussions on land rents. As well known, these are models that allow us to

rationalise choices driven by multiple and often conflicting objectives. With them, each objective is evaluated through appropriate evaluation criterion, in turn expressed through a specific indicator. In general, the result of a multi-criteria analysis is a qualitative-quantitative evaluation profile, sometimes even linked to a single synthetic index. The models in question can be formulated using optimization algorithms which, as explained in Operational Research, often solve complex decisional problems through mathematical structures based on Continuous Linear Programming (CLP).

3. THE MODEL

As mentioned above, the paper objective is to define and test an evaluation model for the optimal allocation of available financial resources among UFP, in order to pursue the achievement at urban scale of uniform level of eco-systemic services in different neighbourhoods. To this end, it is necessary to consider performance indicators capable of representing the three

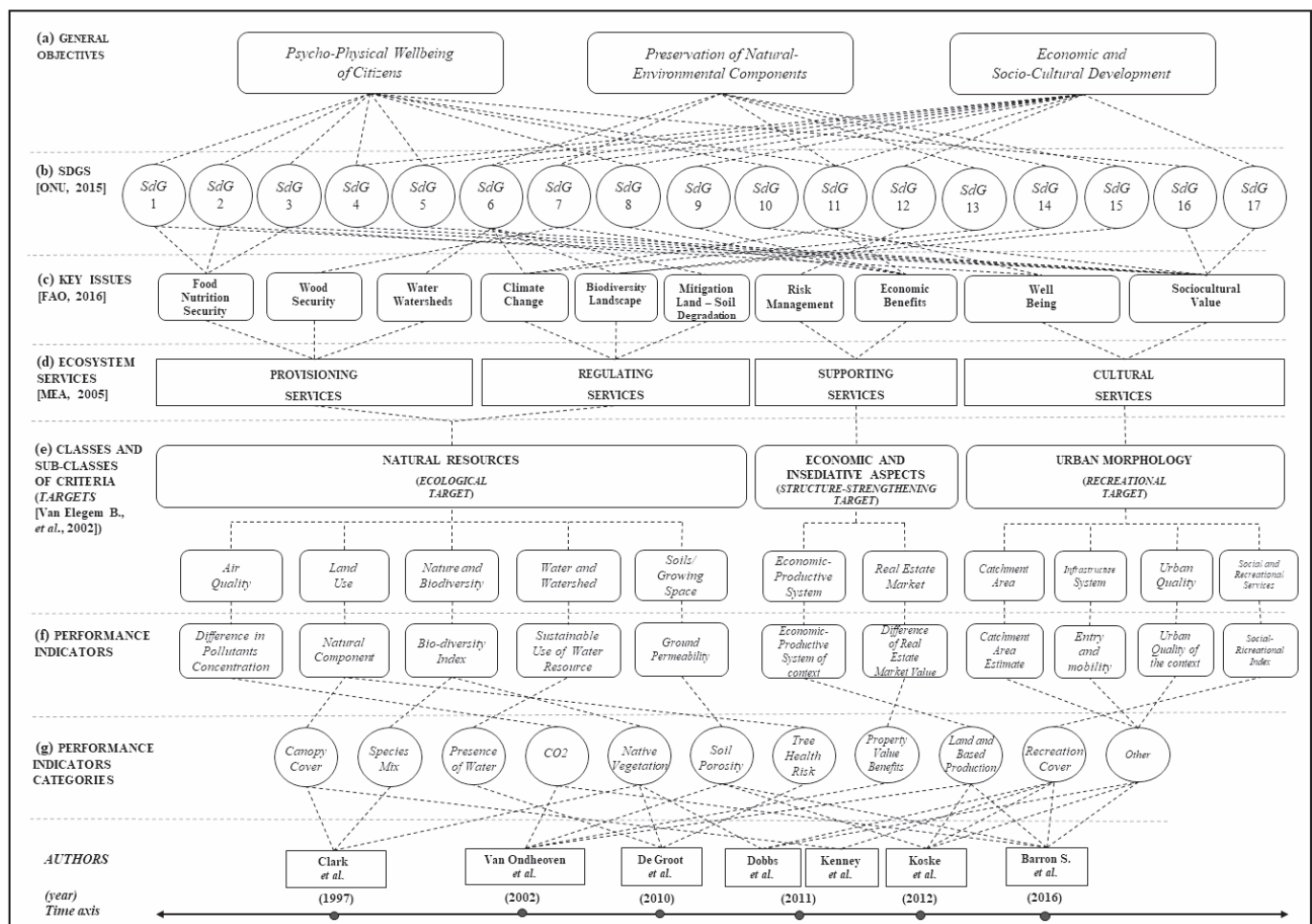


Figure 4 - Reporting system for the evaluation of integrated eco-systemic urban forest projects.

sustainable dimensions (environmental, social and economic). The indicators selection should be made in the light of Figure 4, taking into account the case specificities to be solved. The indicators chosen in this way make it possible to define the state of the neighbourhood in terms of ex-ante and ex-post eco-systemic services. The values assumed by the indicators in each neighbourhood must be aggregated in order to obtain a synthetic evaluation index, called Total Value (TV), representative of the investment's capacity to pursue multiple urban forest objectives.

The analysis algorithm is compiled in the syntax of "A Mathematical Programming Language" (AMPL). It is a language used to describe and solve mathematical programming problems, for example optimization ones (Zenios, 1993; Schoen, 2006), also with reference to urban regeneration interventions (Bekele et al., 2005; Bagstad et al., 2013; Nesticò and Sica, 2017). This language, based on a model file and data file, implements specific solvers (CPLEX, KNITRO, etc.) and adapts well to the modelling of decision-making cases in question (Fourerr et al., 1993; Gay, 1993).

Since it is a question of solving problems whose uncertainties assume real values (in the case, for example, of resources allocation between investments) and not only discrete (in the case, for example, of selection between investments for the construction of a Projects Portfolio), the evaluation algorithm is written in terms of the CLP according to AMPL rules (Vanderbei, 2014) with reference to urban regeneration interventions conducted with eco-systemic logic (Guarini et al., 2018).

3.1 Performance indicators for the model application

The indicators must measure the prevailing spread effects that UFP generate on the territory.

Table 2 shows a possible selection of performance indicators. For each indicator is specified the: eco-

systemic service type; Key Issue; measurement system; unit of measurement. The five performance indicators considered, as they are most frequently used in literature, are:

- 1) Canopy Cover, as «the percentage of land covered by the vertical projection of the canopies of the trees» (Jennings et al., 1999);
- 2) Water reserves presence, expressed as the area occupied by small and/or medium-sized water basins;
- 3) Native vegetation degree, capable of expressing the areas biodiversity to be regenerated according to number of existing tree species;
- 4) Income indicators, as measure of the development of productive activities in the urban area (Internal Rate of Return, Net Present Value or Return on Investment Time);
- 5) Area destined for recreational services, i.e. areas destined for cultural activities and social-recreational services, with regard to the psycho-physical well-being of the residents.

3.2 The multi-objective decision-making structure model

Multi-objective decision problems can be solved in linear programming terms, which defines a logical-operational system of the type:

$$\begin{cases} C(x) = f(x_1, \dots, x_n) \\ \varphi_{(1, \dots, m)}(x_1, \dots, x_n) \leq b_{(1, \dots, m)} \\ x \in X \end{cases}$$

where an objective function $C(x)$, the constraints system (φ_m) and the variables vector x appear.

In general, multi-objective problems can be of:

- continuous optimization, if the vector \bar{x} has values in R_n ;

Table 2 - Indicators of the model

Ecosystem Services	Key Issues	Performance Indicator	Measurement System	Unit of Measure
Services provisioning	Food-Nutrition Security	Canopy Cover	m ² green Area	%
			m ² Area	
Services regulating	Water-Watersheds	Presence of Water Reservoirs (PWR)	m ² Water Reservoirs	%
	Biodiversity	Native Vegetation	N° Species	
Services supporting	Landscape Economic Benefits Green Economy	Income Indicator	TIR	%
Services cultural	Socio-cultural Value	Recreation Cover	m ² Recreation Cover	%
			m ² Area	

- whole (or discrete) optimization, when the variables considered assume values in Z_n .

In all cases, it is important to choose the solver algorithm, which in the CLP often coincides with simplex algorithm, able to determine the optimal solution through an iterative search process. Specifically, starting with an evaluation function f of the type:

$$f : D \rightarrow R$$

is associated to every possible alternative of the Decision Domain (D) an index, image of the data characterizing the nature state of the system, defined in the field of the real numbers R . To vary of the function f , the choice criteria can vary, also for a same evaluation problem. For example, function f can return the Total Value (TV) for each element of the domain (Vercellis, 2008).

In particular, the Expected Value criterion, both monetary and non-monetary, is frequently used to support analysis in stochastic decision-making systems. It formalizes the heuristic idea of Average Value of the Decision (Di), which depends on the occurrence probability $Pr(GOAL_j)$ for each nature state S_i of the system S , fruit of formulated evaluations with regard to the Goal j -th (G_j) to be reached, and to the data characterizing the state of nature (S_i, G_j) of the i -th system. Thus the terms "occurrence probability" and "weight" assume the same meaning.

In mathematical terms, relationships apply:

$$\sum_{i=1}^n S_i = S$$

$$\sum_{i=1}^m Pr(SG_j) = 1$$

$$EV(Di) = \sum_{j=1}^m Pr(G_j) EV(S_i, G_j)$$

con $i = 1, \dots, n$
 $j = 1, \dots, m$

The expected value EV for the S system is therefore:

$$EV = \sum_{i=1}^n EV(Di) = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m Pr(G_j) EV(S_i, G_j)$$

3.3 Analysis algorithm

The use of continuous linear programming logics therefore makes it possible to solve the resources distribution problem between urban areas undergoing requalification through UFP. Specifically, each area is evaluated with m criteria (with $m > 1$) expressed through the corresponding selected performance indicators. These uniquely characterize the i -th area, so as to

return the Total Value TV (both initial and expected) as a linear combination of the values by each indicator.

The specific evaluation problem can be solved considering a mathematical model according to which the decision to assign a part ϵ_i of the available resources to the project for the i -th area depends on the ΔTV_i , that is the difference between TV_{i_fin} and TV_{i_in} of the i -th area subjected to the i -th project. In other words, the values TV_{i_fin} and TV_{i_in} correspond to the Total Value of the i -th area respectively after and before the allocation of resources to the forestation project for the $AREA_i$.

Depending on the rate of resources i assigned to the i -th area such that:

$$\max \sum_i \Delta TV_i \cdot \epsilon_i =$$

$$= \max \sum_i \Delta (TV_{fin} - TV_{in}) \cdot \epsilon_i \quad (1)$$

the calculation of the TV_{fin} responds to a simple mathematical formulation of the type:

$$TV_{i_fin} = TV_{i_in} + \Delta TV_i \quad (2)$$

Equation (2) specifies the analytical relationship between the final value TV_{i_fin} of the i -th area and the independent problem variable ϵ_i to be solved (Fig. 5).

In accordance with equalisation principle, the condition is laid down:

$$TV_{(i-1)_fin} = TV_{i_in} = TV_{(i+1)_fin} \quad (3)$$

which can also be written in the form:

$$TV_{(i-1)_in} + \Delta TV_{(i-1)} = TV_{i_in} + \Delta TV_i =$$

$$TV_{(i+1)_in} + \Delta TV_{(i+1)} \quad (4)$$

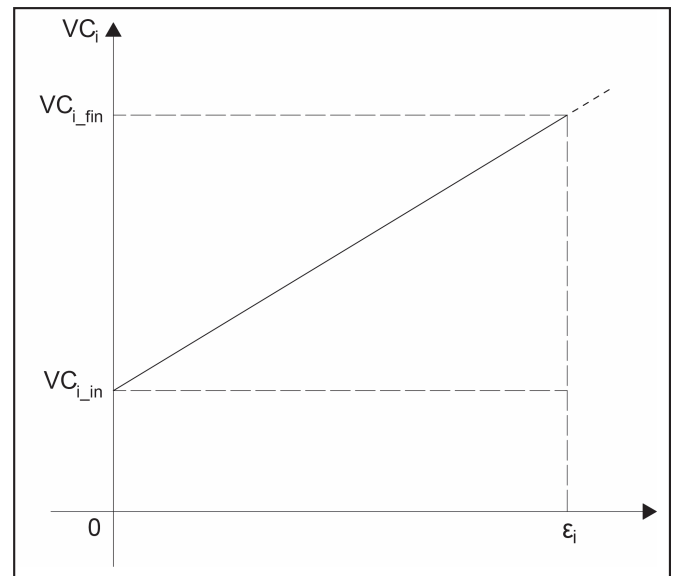


Figure 5 - Linear increase relation of the i -th area Total Value.

This condition leads to the allocation of more financial resources to urban areas with the most serious shortcomings in terms of eco-systems and serious development delays.

The equality tie between all the TV_{i_fin} allows to obtain from (5) the financial resources rates ϵ_i necessary for the increases of value ΔTV_i of the areas:

$$\left\{ \begin{array}{l} \max \sum_i \Delta TV_i \cdot \epsilon_i \\ \epsilon_i > 0 \\ \sum_{i=1}^n \epsilon_i = 1 \\ TV_{(i-1)_fin} = TV_{(i)_fin} = TV_{(i+1)_fin} \end{array} \right. \quad (5)$$

Once the total budget available has been established, if C_i is the investment cost of the i -th forest project, the formal relationships in the (5) ensure that the (6) is always respected:

$$\sum_i C_i \cdot \epsilon_i \leq \text{BUDGET} \quad (6)$$

Implemented in AMPL using CPL algorithms, the model summarized in (5) assumes the structure of Table 3.

Ultimately, the n neighbourhoods to be regenerated (set NEIGHBOURHOODS) are evaluated according to the selected sustainability indicators (set INDICATORS). Each district is assigned a resources rate (RATES set) according to the budget available and increase in Total Value (param ΔTV) to be achieved through UFP.

The numeric values of the initial TV of the i -th area (param TV_{in}) are PARAMETERS of the system to be resolved.

Once the problem unknowns have been established (var $\epsilon \{i \text{ in NEIGHBOURHOODS}\} \geq 0$), the objective function is written.:

$$\text{MAXIMIZE objective: } \sum \{i \text{ in NEIGHBOURHOODS}\} \Delta TV [i] \epsilon [i].$$

This function is subject to the CONSTRAINTS on the value increase of the i -th area:

$$\text{s.t. (subject to) constraint 1 : } TV_{(i-1)_fin} = TV_{i_fin} = TV_{(i+1)_fin}$$

4. CASE STUDY

Six city districts are considered to be regenerated through UFP financed by distribution of available public resources. The objective is to ensure the optimal use of the available budget (assumed at € 4,200,000) with the aim of maximizing and homogenizing the eco-systemic effects that the projects generate on the territory and to make less different the values of the urban income. This according to equalization principles aimed at achieving uniform final levels of urban quality.

The parameters values that define the problem, i.e. the attributes that express the equipment of eco-systemic services in each neighbourhood before the intervention, are given in Table 4. The normalization operation is carried out by comparing each attribute

Table 3 - Optimization model

SETS
set NEIGHBOURHOODS; set INDICATORS; set RATES
PARAMETERS
param ΔTV ; param TV_{in}
VARIABLES
var $\epsilon \{i \text{ in NEIGHBOURHOODS}\} \geq 0$
OBJECTIVE FUNCTION
maximise objective: $\sum \{i \text{ in NEIGHBOURHOODS}\} \Delta TV [i] \epsilon [i]$
CONSTRAINTS
s.t. constraint 1: $TV_{(i-1)_fin} = TV_{i_fin} = TV_{(i+1)_fin}$ $\sum_i C_i \cdot \epsilon_i \leq \text{BUDGET}$

Table 4 - Evaluation parameters matrix

Neighbourhood	Canopy Cover [%]	Presence of Water Reservoirs [%]	Native Vegetation [N°]	TIR [%]	Recreational Cover [%]
1	10	17	2	5.71	12
2	25	18	3	8.56	8
3	34	28	5	10.35	25
4	17	8	2	6.25	5
5	48	14	1	11.8	20
6	25	4	0	4.1	4

Table 5 - Standardised matrix of assessment parameters

Neighbourhood	Canopy Cover	Presence of Water Reservoirs	Native Vegetation	TIR	Recreational Cover	VC _{in}
1	0.21	0.61	0.4	0.48	0.48	2.18
2	0.52	0.64	0.6	0.73	0.32	2.81
3	0.71	1	1	0.88	1	4.59
4	0.35	0.29	0.4	0.53	0.2	1.77
5	1	0.5	0.2	1	0.8	3.5
6	0.52	0.14	0	0.35	0.16	1.17

Table 6 - Model Output

Neighbourhood	1	2	3	4	5	6
ϵ_i	0.1316	0.1226	0.097	0.24	0.1392	0.2693
Financial Resources [€]	552,720	514,920	407,400	1,008,000	584,640	1,131,060

to the corresponding maximum value found, as in Table 5.

On the basis of the normalised data obtained, the implementation of the proposed model makes it possible to obtain for each neighbourhood the initial TV_{in}) as the sum of the parameter values (last column of Table 5).

The final total value of TV_{fin} is set at 5.00 for all the neighbourhoods to be redeveloped through forestation. It corresponds to the highest value of TV for each intervention area. It is obtained from the sum of the highest values that each indicator can assume in correspondence with the i-th district.

By specifying in AMPL the cplex solver that implements the simplex algorithm, we obtain the resources rates ϵ_i to be assigned to the areas to be upgraded. These rates correspond to the budget portions to be allocated to individual districts in order to maximize the total increase in urban quality ΔTV . The ϵ_i obtained by the analysis algorithm, on the basis of which the monetary amounts are attributed to each project, are summarized in Table 6.

It is evident that the highest values of ϵ_i , therefore the greater monetary amounts, concern the areas with lower levels of TV_{in}. In the application, in fact, the sums of € 1,131,060 and of € 1,008,000 concern respectively the districts 6 and 4, that have the lowest TV_{in}, that is 1,17 and 1,77. This means allocating greater financial resources to the city areas with the greatest development delays. According to equalisation principle, which leads to guaranteeing the same final TV_{fin} level of urban quality to all the districts considered, the values of the ϵ_i provided by the model produce the maximum Total Value.

5. CONCLUSION

The integration between natural and built environment

orients the territory planning towards strategies of urban sustainability. In this perspective, the inclusion of new green areas in consolidated urban contexts (Urban Forestry Projects) allows to pursue multiple objectives in a sustainable key through services aimed at favouring the places economy, improve the population welfare, promote environmental protection and rational land use. This with effects of greater uniformity of urban income values, especially between cities areas with low liveability levels.

To evaluate forest initiatives, it is necessary to develop evaluation tools to support public administrations. So it is possible to identify the best allocation of available monetary resources among project alternatives on areas to renewal in relation to a more homogeneous ecosystem services level.

With the present work, with the present work, defined a set of indicators according to the evaluation problem to be solved and the project scale of interest, the algorithm that defines the economic investigation model is proposed. The characterization of the model makes use of the Continuous Linear Programming principles, implemented in A Mathematical Programming Language (AMPL) that allow to consider indicators of multiple nature (financial, environmental, socio-cultural) to define an overall value of the area subject to UFP. This value is important for estimating the budget rates to be allocated to each district. This is done in compliance with the criterion of urban equalization, which consists in balancing the overall final values of each district with the aim of standardizing the quality of settlement between different city portions and consequently the values of the urban income.

The role of the proposed investigation and evaluation tool is evident, as also from the case study developed, which demonstrates its effectiveness and ease of use. Specifically, the model lends itself to solving complex decision-making systems with a high number of

variables and multiple data, generally expressed on different evaluation scales. This is the case, for example, where it is necessary to establish priority list of project alternatives to be implemented in the urban environment, and when it is necessary to estimate the increase in eco-systemic value for each type of service in the i -th area subjected to UPF in order to achieve more uniform values of urban income. Through the proposed instrument, each alternative is evaluated in an integrated eco-systemic key, and the mechanism for selecting and/or measuring the variation of the type of eco-systemic service is conducted with a view to minimising the disparity in wealth (environmental, social and economic) between parts of the same city. In

order to allocate the available financial resources among project alternatives, the model provides as output the rate to be allocated to the single initiative. It should be noted that the results obtained by the analysis algorithm do not provide any estimation of the urban return of the areas. It is in fact a comparison between areas to be redeveloped in compliance with the principles of equalization and with the aim of obtaining uniformity of eco-system values. The contextualization of the parameters to different urban realities, the corresponding verifications of applicability of the tool, as well as the integration of the proposed model with GIS tools, outline interesting research perspectives.

* **Maria Rosaria Guarini**, Department of Architecture and Design, Architecture Faculty, "Sapienza" University of Rome, 00196 Rome, Italy

e-mail: mariarosaria.guarini@uniroma1.it

** **Antonio Nesticò**, Department of Civil Engineering, University of Salerno, 84084 Fisciano (SA), Italy

e-mail: anestico@unisa.it

*** **Pierluigi Morano**, Department of Science of Civil Engineering and Architecture, Polytechnic University of Bari, 70125 Bari, Italy

e-mail: pierluigi.morano@poliba.it

**** **Francesco Sica**, Doctoral School of Architecture and Construction, Department of Architecture and Design, Architecture Faculty, "Sapienza" University of Rome, 00196 Rome, Italy

e-mail: francesco.sica@uniroma1.it

Acknowledgements

M.R.G., A.N., P.M., F.S. have conceived, structured and written the article in equal parts. In particular, M.R.G. and F.S. have collected the bibliographic resources; A.N. and F.S. have implemented the software; M.R.G. and P.M. have validated the results of the calculations; A.N. and M.R.G. have supervised the development of the work.

Bibliography

ASARA V., OTERO I., DEMARIA F., CORBERA E., *Socially sustainable degrowth as a social-ecological transformation: Repoliticizing sustainability*, Sustainability Science, Vol. 10, 2015, pp. 375-384.

BAGSTAD K.J., SEMMENS D.J., WAAGE S., WINTHROP R., *A comparative assessment of decision-support tools for ecosystem services quantification and valuation*, Ecosystem Services, 5: 2013, pp. 27-39.

BARÓ F., CHAPARRO L., GÓMEZ-BAGGETHUN E., LANGEMEYER J., NOWAK D.J., TERRADAS J., *Contribution of ecosystem services to air quality and climate change mitigation policies: the case of urban forests in Barcelona*. Spain. Ambio., Vol. 43 (4), 2014, pp. 466-479.

BARRON S., SHEPPARD S.R.J., CONDON P.M., *Urban Forest Indicators for Planning and Designing Future Forests*. Forests, Vol. 7, 208, 2016, pp. 1-17.

BEKELE E.G., NICKLOW J.W., *Multiobjective management of ecosystem services by integrative watershed modeling and*

evolutionary algorithms, Water Resources Research, Vol. 41(10), 2005, pp. 1-10.

CHU M.T., SHYU J., TZENG G.H., KHOSLA R., *Comparison among three analytical methods for knowledge communities group-decision analysis*, Expert Syst Appl, Vol. 33(4), 2007, pp. 1011-1024.

CLARK J.R., MATHENY N.P., CROSS G., WAKE V., *A model of urban forest sustainability*, J. Arboric., Vol. 23, 1997, pp. 17-30.

COUTTS A.M., TAPPER N.J., BERINGER J., LOUGHNAN M., DEMUZERE M., *Watering our cities: the capacity for water sensitive urban design to support urban cooling and improve human thermal comfort in the Australian context*, Prog.Phys. Geogr. Vol. 37(1), 2013, pp. 2-28.

DE GROOT R.S., ALKEMADE R., BRAAT L., HEIN L., WILLEMEN L., *Challenges in integrating the concept of ecosystem services and values in landscape planning, management and decision making*, Ecol. Complex, Vol. 7, 2010, pp. 260-272.

- DOBBS C., ESCOBEDO F.J., ZIPPERER W.C., *A framework for developing urban forest ecosystem services and goods indicators*, *Landsc. Urban Plan.*, Vol. 99, 2011, pp.196-206.
- DONOVAN G.H., BUTRY D.T., *The effect of urban trees on the rental price of single-family homes in Portland, Oregon*, *Urban forestry & Urban Greening*, Vol. 10, 2011, pp. 163-168.
- ENDRENY T., *Strategically growing the urban forest will improve our world*, *Nature communications*, Vol. 9(1), 2018, pp. 1-3.
- EUROPEAN ENVIRONMENT AGENCY, *Land system at European level - Analytical assessment framework European*, Briefing no. 10/2018, (scaricabile dal sito internet: <https://www.eea.europa.eu/themes/landuse/land-systems/land-system-at-european-level>, consultato on line il 16 gennaio 2019).
- EUROPEAN COMMISSION, *A new EU Forest Strategy: for forests and the forest-based sector*, COM (2013) 659, Brussels, 2013 (scaricabile dal sito internet: https://ec.europa.eu/agriculture/forest/strategy/communication_en.pdf, consultato on line il 28 gennaio 2019).
- EUROPEAN COMMISSION, *The State of European Cities: Cities Leading the Way to a Better Future; Publications Office of the European Union: Luxembourg*, 2016 (scaricabile dal sito internet: http://ec.europa.eu/regional_policy/sources/policy/themes/citiesreport/state_eu_cities2016_en.pdf, consultato on line il 28 gennaio 2019).
- EUROPEAN COMMISSION, *Directive 2007/2/EC of the European parliament and of the council of 14 march 2007 establishing an infrastructure for spatial information in the European community (INSPIRE)*, 2007 (scaricabile dal sito internet: <https://eur-lex.europa.eu/legalcontent/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32007L0002&from=EN>, consultato on line il 16 gennaio 2019).
- EUROPEAN COMMISSION, *Leipzig Charter on Sustainable European Cities*, CdR 163/2007 EN-COM/SAB/lc, 2007.
- FAO, *Guidelines on urban and peri-urban forestry*, Forestry Paper, No. 178, 2016.
- FOURER R., GAY D.M., KERNIGHAN B., *AMPL: A Modeling Language for Mathematical Programming*, Boyd & Fraser, Danvers, MA, USA, 1993.
- GAY D.M., *Hooking Your Solver to AMPL*, Technical Report 93-10, AT&T Bell Laboratories, Murray Hill, NJ, USA, 1993.
- GOMÉZ-BAGGETHUN E., DE GROOT R., LOMAS P.L., MONTES C., *The history of ecosystem services in economic theory and practice: From early notions to markets and payment schemes*, *Ecological Economics*, Vol. 69 (6), 2009, pp. 1209-1218.
- GONZALEZ M.J.G., *Planning, Urban Sprawl and Spatial Thinking*, *European Journal of Geography*, Vol. 8(1), 2017, pp. 32-43.
- GUARINI M.R., NESTICO A., MORANO P., SICA F., "A Multicriteria Economic Analysis Model for Urban Forestry Projects", in Calabrò F., Della Spina L., Bevilacqua C. (a cura di), *New Metropolitan Perspectives. Local Knowledge and Innovation Dynamics Towards Territory Attractiveness Through the Implementation of Horizon/E2020/Agenda 2030*, Springer: Cham, Switzerland, 2018, pp. 564-571.
- QUITOUNI A., MARTEL J.M., VINCKE P., NORTH P.B., *A Framework to Choose a Discrete Multicriterion Aggregation Procedure*, Defence Research Establishment Valcatier (DREV), Ottawa, ON, Canada, 1998.
- HANSEN R., FRANTZESKAKI N., MCPHEARSON T., RALL E., KABISCH N., KACZOROWSKA A., PAULEIT S., *The uptake of the ecosystem services concept in planning discourses of European and American cities*, *Ecosystem Services*, Vol. 12, 2015, pp. 228-246.
- HARDIN P.J., JENSEN R.R., *The effect of urban leaf area on summertime urban surface kinetic temperature: A Terre Haute case study*, *Urban Forestry & Urban Greening*, Vol. 6, 2007, pp. 63-72.
- HEAL G.M., BARBIER E.B., BOYLE K.J., COVICH A.P., GLOSS S.P., HERSHNER C.H., HOEHN J.P., PRINGLE C.M., POLASKY S., SEGERSON K., SHRADER-FRECHETTE K., *Valuing Ecosystems Services: Toward Better Environmental Decision-Making*, National Research Council, Washington DC, 2005.
- ISHIZAKA A., NEMERY P., *Multi-Criteria Decision Analysis: Methods and Software*, John Wiley & Sons, Hoboken, NJ, USA, 2013.
- JENNINGS S.B., BROWN N.D., SHEIL D., *Assessing forest canopies and understorey illumination: canopy closure, canopy cover and other measures*, *Forestry: An International Journal of Forest Research*, Vol. 72(1), 1999, pp. 59-74.
- KENNEY W.A., VAN WASSENAER P.J., SATEL A.L., *Criteria and indicators for strategic urban forest planning and management*, *Arboric. Urban For.*, Vol. 37, 2011, pp. 108-117.
- KONIJNENDIJK C., KJELL N., RANDDRUP T., SCHIPPERINI J., *Urban forest and trees*, Springer Verlag, Amsterdam, 2005.
- KONIJNENDIJK C.C., NILSSON K., RANDRUP T.B., SHIPPERIJN J., *Defining urban forestry. A comparative perspective of North America and Europe*, *Urban Forestry & Urban Greening*, Vol. 4, 2006, pp. 93-103.
- KOSKE I., FOURNIER J.M., *The determinants of earnings inequality: evidence from quantile regressions*, *OECD Journal: Economic Studies*, Vol. 1, 2012, pp. 7-36.
- MEA, MILLENNIUM ECOSYSTEMS ASSESSMENT, *Ecosystems and Human Well-Being: Current State and Trends*, Island Press, Washington, DC, 2005.
- MORANO P., TAJANI F., *Saving soil and financial feasibility. A model to support public-private partnerships in the regeneration of abandoned areas*, *Land Use Policy*, Vol. 73, 2018, pp. 40-48.
- NESTICÒ A., SICA F., *The sustainability of urban renewal projects: a model for economic multi-criteria analysis*, *Journal of Property Investment and Finance*, Vol. 35, 2017, pp. 397-409.
- NESTICÒ A., GUARINI M.R., MORANO P., SICA F., *An Economic Analysis Algorithm for Urban Forestry Projects*,

- Sustainability, Vol. 11(2), 314, 2019, pp. 1-13.
- OPRICOVIC S., TZENG G.H., *Extended VIKOR method in comparison with outranking methods*, European Journal of Operational Research, Vol. 178(2), 2007, pp. 514-529.
- OSTOI S.K., KONIJNENDIJK VAN DEN BOSCH C.C., *Exploring global scientific discourses on urban forestry*. Urban Forestry & Urban Greening, Vol. 14(1), 2015, pp. 129-138.
- ROY B., *The optimisation problem formulation: Criticism and overstepping*, J. Oper. Res. Soc., Vol. 32, 1981, pp. 427-436.
- SCHOEN F., *Modelli di ottimizzazione per le decisioni*, Società Editrice Esculapio, Bologna, 2006.
- STIRN L.Z., *Integrating the fuzzy analytic hierarchy process with dynamic pro-gramming approach for determining the optimal forest management decisions*, Ecological Modelling, Vol. 194, 2006, pp. 296-305.
- TERMORSHUIZEN J.W., OPDAM P., VAN DEN BRINK A., *Incorporating ecological sustainability into landscape planning*, Landscape and Urban Planning, Vol. 79, 2007, pp. 374-384.
- TORRE C. M., MORANO P., TAJANI F., *Saving soil for sustainable land use*, Sustainability, Vol. 9, 350, 2017, pp. 1-32.
- UNITED NATIONS, *Transforming Our World: The 2030 Agenda for Sustainable Development*, A/RES/70/1, 2015 (scaricabile dal sito internet: http://www.un.org/en/ga/search/view_doc.asp?symbol=A/RES/70/1, consultato on line il 28 gennaio 2018).
- VANDERBEI R.J., *Linear programming. Foundations and Extensions*, Heidelberg: Springer, New York, USA, 2014.
- VAN ELEGEM B., EMBO T., MUYS B., LUST N., *A methodology to select the best locations for new urban forest using multicriteria analysis*, Forestry, Vol. 75, 2002, pp. 13-23.
- VAN OUDENHOVEN A.P.E., PETZ K., ALKEMADE R., HEIN L., DE GROOT R.S., *Framework for systematic indicator selection to assess effects of land management on ecosystem services*, Ecological Indicators, Vol. 21, 2012, pp. 110-122.
- VERCELLIS C., *Ottimizzazione, Teoria, metodi e applicazioni*, The McGraw-Hill Companies, Milano, 2008.
- ZENIOS S.A. (ed.), *Financial optimization*, Cambridge University Press, Cambridge, 1993.
- ZHENG D., DUCEY M.J., HEATH L.S., *Assessing net carbon sequestration on urban and community forests of northern New England, USA*, Urban Forestry & Urban Greening, Vol. 12, 2013, pp. 61-68.
- WILSON M.A., HOWARTH R.B., *Discourse-based valuation of ecosystem services: establishing fair outcomes through group deliberation*, Ecological Economics, Vol. 41(3), 2002, pp. 431-443.
- WOLFSLEHNER B., VACIK H., LEXER M.J., *Application of the analytic network pro-cess in multicriteria analysis of sustainable forest management*, Forest Ecology and Management, Vol. 207, 2005, pp. 157-170.

Controllo della rendita urbana: uno strumento di supporto alle decisioni per la distribuzione ottimale delle risorse tra progetti di forestazione urbana

Maria Rosaria Guarini*, Antonio Nesticò**, Pierluigi Morano***, Francesco Sica****

parole chiave: sviluppo sostenibile; uso del suolo; svalutazione economica; progetti di forestazione urbana; analisi multicriteriale; programmazione lineare continua

Abstract

Le aree verdi negli agglomerati urbani costituiscono una risorsa strategica per lo sviluppo sostenibile della città. L'esecuzione di Urban Forestry Projects (UFP) consente da una parte di innalzare il livello di qualità ambientale, migliorando il microclima e conservando la biodiversità, dall'altra di favorire la rigenerazione urbana e di promuovere lo sviluppo socio-economico creando servizi eco-sistemici per la popolazione. Ne discende un uso più razionale del suolo e un incremento dei valori immobiliari.

Sebbene le Direttive comunitarie mostrino la necessità di favorire la crescita sostenibile del territorio attraverso il recupero e la riqualificazione del costruito, la realizzazione di investimenti basati su logiche eco-sistemiche

viene di rado annoverata quale azione prioritaria per la città, preferendosi spesso una allocazione differente delle risorse disponibili.

Il presente lavoro intende innanzitutto definire un set di indicatori utili ad esprimere le componenti di valore – finanziarie, sociali, culturali e ecologico-ambientali – per gli UFP. Tali indicatori costituiscono i termini di riferimento per la caratterizzazione di un protocollo innovativo di analisi multicriteriale destinato all'operatore pubblico che intenda stabilire l'ottimale distribuzione dei fondi tra UFP in ambiti circoscritti del tessuto urbano. Il protocollo impiega gli algoritmi della Programmazione matematica ed è testato su un caso studio relativo ad aree urbane da riqualificare.

1. INTRODUZIONE

1.1 Sviluppo urbano sostenibile integrato

Dalla fine della seconda guerra mondiale la crescita di molte città, europee e non, è avvenuta, spesso, in maniera incontrollata, restituendo nel tempo un territorio con: aree urbanizzate sempre più ampie, sfrangiate (*Sprawl* urbano) e densamente popolate; patrimonio immobiliare di modesta se non addirittura di scarsa qualità edilizia; insufficienti livelli di servizi ed infrastrutturazione; limitate superfici a verde (Termorshuizen et al., 2007). Nelle città si riscontrano ambiti insediativi eterogenei per destinazione d'uso, densità del costruito e della popolazione, nei quali spesso sono presenti anche vuoti urbani costituiti da aree non e/o parzialmente edificate o dismesse. La diffusione e dispersione insediativa ha portato all'occupazione sempre più ampia di superfici originariamente agricole, naturali o semi-naturali, a favore di edifici e/o infrastrutture (Torre et al., 2017). Tali fattori incidono negativamente sull'organizzazione delle città in termini di differenziazione e alterazione dei valori ecologici, ambientali e della rendita urbana, di sviluppo di attività produttive, di qualità, vivibilità e equità sociale dei contesti urbani (Morano et al., 2018).

Ciò ha spinto, da tempo, gli operatori a ricercare modelli più razionali di trasformazione del suolo e strumenti di controllo della rendita urbana (ad es. meccanismi per l'ottima allocazione delle risorse tra destinazioni alternative di uso dello spazio fisico ed antropico esistente; processi di espropriazione di aree per pubblica utilità; sistemi volti alla migliore localizzazione di attività produttive tramite nuove strategie di azione sostenibili basate sulla gestione integrata delle risorse esistenti, sia umane che naturali. A tal fine, secondo l'European Environment Agency (EEA) il territorio deve essere considerato come un sistema integrato, *land system* (EEA, 2018), nel quale si combinano le componenti di *land use* con quelle della *land cover* (European Commission, 2/2007; EEA, 2018).

Sin dal 2007 con la Carta di Lipsia (European Commission, 163/2007), gli Stati membri europei hanno promosso politiche di sviluppo urbano sostenibili tramite azioni di progettazione integrata indirizzate prevalentemente al recupero e alla valorizzazione del costruito, oltre che alla riqualificazione di ambiti urbani degradati (European Commission, 2016). L'obiettivo è di favorire interventi, sia sull'edificato sia su aree libere (non e/o parzialmente edificate), in grado di produrre effetti sulla società, l'economia, l'ambiente e la cultura (Konijnendijk et al., 2005; Asara et al., 2015; Gonzales, 2017).

Nel 2015 l'Organizzazione delle Nazioni Unite ha approvato l'Agenda Globale per lo Sviluppo Sostenibile, definendo 17 Sustainable development Goals (SdG) che gli Stati Membri hanno concordato di perseguire entro il 2030 (ONU, 2015). Tra gli SdG, uno dei quali specificamente indirizzato a «rendere le città e gli insediamenti umani inclusivi, sicuri, resilienti e sostenibili» (SdG 11), è possibile individuare alcune relazioni logico-funzionale

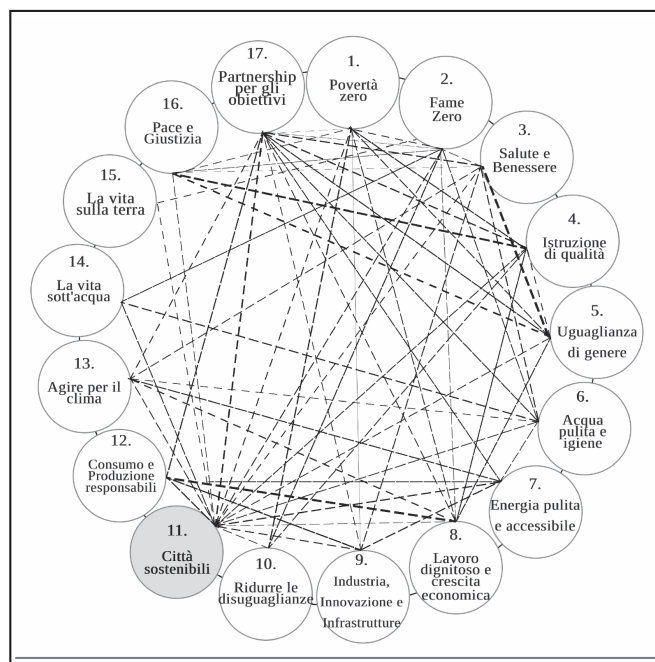


Figura 1 - Sistema di relazioni tra SdG.

utili a definire politiche d'intervento per lo sviluppo urbano sostenibile integrato (Fig. 1).

Allo scopo di promuovere la sostenibilità delle città (SdG 11), occorre prevedere azioni volte sia ad affrontare il cambiamento climatico (SdG13), sia a favorire l'inclusione sociale (SdG 10), il benessere psico-fisico dei cittadini (SdG 3) e la crescita economica (SdG 8). Il perseguimento di tali obiettivi può avvenire con la produzione di servizi eco-sistemiche, distinti dalla *Millennium Ecosystem Assessment* (MEA, 2005) in: *Servizi di supporto e regolazione* (per la tutela e la differenziazione delle comunità biotiche esistenti), *Servizi di approvvigionamento* (per la crescita economica del territorio) e *Servizi culturali* (per il benessere psico-fisico delle persone) (Fig. 2). In questa prospettiva, gli interventi di forestazione urbana consentono di innalzare il livello di qualità urbana in quanto conducono alla creazione di servizi eco-sistemiche utili allo sviluppo sostenibile nelle dimensioni ambientale, economica e sociale della città (Hansen et al., 2015; Ostoi et al., 2015). In generale, per *Urban Forestry Projects* (UFP) s'intendono interventi realizzati dentro e fuori le aree metropolitane che ricomprendono gli alberi presenti nelle aree urbane e peri-urbane, incluse quelle private, i viali alberati and i parchi urbani di diversa dimensione (Endreny, 2018).

La European Union's Forest Strategy (European Commission 659/2013) definisce gli interventi di forestazione urbana e/o peri-urbana come «[...] attività multidisciplinari che ricomprendono la progettazione, pianificazione, creazione e gestione di alberi, boschi, che di solito sono fisicamente collegati a formare un mosaico di vegetazione all'interno o in prossimità di centri abitati» (Konijnendijk,

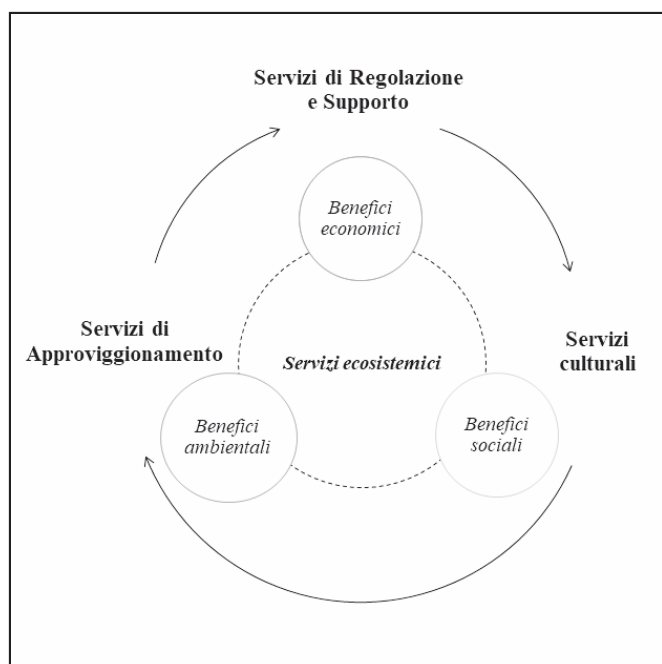


Figura 2 - Tipi di servizi eco-sistemici.

2006). Evidentemente, gli obiettivi generali sono sia la conservazione della componente ambientale e naturale attraverso un minor consumo di suolo (Heal et al., 2005), il miglioramento della qualità dell'aria (Zengh et al., 2013) e la conservazione della biodiversità (Hardin and Jensen, 2007), sia la crescita economica dell'area per mezzo di attività commerciali e/o produttive utili a soddisfare i bisogni della collettività, sia ancora lo sviluppo socio-culturale creando spazi ricreativi e offrendo servizi alla popolazione (Donovan and Butry, 2011).

Sulla base della classificazione MEA, la Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) ha individuato 10 Key Issues di cui tenere conto in fase progettuale per l'esecuzione di interventi di forestazione urbana (FAO, 2016). Ciascuna delle Key Issues può essere espressa tramite un opportuno criterio di valutazione, stabilito in ragione sia dello *status quo* della zona d'intervento che degli effetti generati sul contesto urbano di riferimento.

Da rilevare che in letteratura sono evidenziati come principali effetti generati dagli UFP in termini di servizi ecosistemici: rimozione degli inquinanti, stoccaggio e sequestro di carbonio, regolazione del microclima, miglioramento del paesaggio, protezione della biodiversità, difesa del suolo, regolazione del ciclo di vita della risorsa idrica (Barò et al., 2014; Coutts et al., 2013).

Nei processi di trasformazione insediativa, l'obiettivo di produrre effetti plurimi sul territorio rende necessario perseguire logiche integrate, attraverso iniziative che coniugano la pluralità degli obiettivi di progetto con i servizi ecosistemici della forestazione urbana.

Si tratta di azioni che assumono declinazioni diverse in considerazione della scala d'intervento: singolo edificio,

isolato, quartieri urbani di piccole/medie dimensioni, vaste porzioni di territorio (Goméz-Baggethum et al., 2013). Nella definizione e valutazione di interventi di trasformazione insediativa che ricomprendono azioni di forestazione urbana occorre considerare tre *Targets* (Van Elegem et al., 2002):

1. fornire ai cittadini uno spazio ricreativo (*Recreational targets*);
2. favorire lo sviluppo del territorio nel rispetto delle proprie vocazioni economiche ed insediative (*Structure-Strengthening targets*);
3. preservare la componente naturale dell'area (*Ecological targets*).

Evidenziando i rapporti logico-funzionali tra Key Issues (FAO, 2016), servizi-eco-sistemici (MEA, 2005) e Targets (Van Elegem et al., 2002), risulta possibile stabilire le Key Issues prevalenti alle diverse scale progettuali (Fig. 3).

Sono pochi gli esempi di progetti di trasformazione insediativa che comprendono azioni di forestazione urbana valutati in maniera eco-sistemica integrata (Guarini et al., 2018; Nesticò et al., 2019). Ciò per l'interesse degli operatori a considerare o soltanto le ricadute finanziarie, oppure disgiuntamente gli aspetti ambientali e sociali, senza portare quindi in conto insieme gli effetti multidimensionali prodotti dalle iniziative. Soltanto l'uso di indicatori di varia natura permette di effettuare una valutazione integrata-multidimensionale in chiave eco-sistemica (Wilson and Howarth, 2002).

Come in molti campi di applicazione (Roy, 1981; Ishizaka and Nemery, 2013) anche nel caso di UFP gli strumenti di valutazione multicriteriale permettono di risolvere, anche tramite l'utilizzo di specifici software, problemi decisionali di scelta riguardanti, ad esempio, diverse modalità di gestione della risorsa forestale (Wolfslehner et al., 2005), alternative progettuali di difesa ambientale (Stirn, 2006); la migliore localizzazione delle foreste urbane (Van Elegem et al., 2002); ordinamento tra alternative di progetto secondo target prestabiliti (Opricovic et al., 2007; Chu et al., 2007) e ottimizzazione delle soluzioni relative a problemi, ad esempio, di allocazione di risorse tra alternative d'investimento (Guarini et al., 2018) e pianificazione strategica del territorio (Nesticò et al., 2019). In particolare, gli algoritmi della Ricerca Operativa consentono di risolvere (Ishizaka and Nemery, 2013) schemi decisionali complessi con un alto numero di variabili e obiettivi plurimi da perseguire simultaneamente attraverso la scrittura di espressioni lineari tra i parametri del problema, pur nel rispetto di specifici vincoli (Guitouni et al., 1998).

1.2 Obiettivi del lavoro

In relazione a quanto fin qui descritto, lo studio ha lo scopo di definire un modello di supporto alle decisioni che permetta di individuare la migliore allocazione delle risorse monetarie disponibili fra interventi da sviluppare in differenti quartieri urbani secondo i criteri della fore-

stazione urbana, considerando gli effetti eco-sistemici prodotti da ciascuna delle alternative di investimento prese in esame. Il modello assume rilevanza per l'operatore pubblico che intenda perseguire obiettivi di razionale uso del suolo, di valorizzazione sostenibile del territorio e di controllo della formazione della rendita urbana, ma anche per l'operatore privato che vuole incrementare il valore di mercato degli immobili attraverso operazioni di potenziamento della dotazione di verde collettivo.

Nel proseguo del paragrafo 2 sono descritte le relazioni e i rapporti logico-funzionali di corrispondenza tra Key Issues, tipi di servizi-eco-sistemici e di Targets e gli indicatori riconosciuti in letteratura per esprimere gli effetti plurimi derivanti da interventi di trasformazione insediativa ricomprendenti la forestazione urbana. Il Paragrafo 3 riporta gli elementi di caratterizzazione del modello proposto, illustrando: l'algoritmo di Programmazione matematica utilizzato; l'insieme degli indicatori selezionati per l'applicazione del modello; le modalità di scrittura di un algoritmo di Programmazione Lineare Continua in grado di risolvere il problema di allocazione delle risorse finanziarie; la caratterizzazione dell'algoritmo di ottimizzazione secondo la sintassi propria del software di programmazione matematica AMPL. Il Paragrafo 4 contiene discussioni sul modello di analisi, che viene testato su un caso studio. Infine, il Paragrafo 5 rende conclusioni e prospettive di ricerca.

2. URBAN FORESTRY PROJECTS. INDICATORI DI PERFORMANCE PER LO SVILUPPO SOSTENIBILE

Come evidenziato in precedenza, la Figura 3 mette in relazione: Key Issues, Ecosystem Services, Targets e scale progettuali d'intervento. In particolare, la figura intende evidenziare come ciascuna delle Key Issue possa avere valenza differente nelle diverse scale di intervento e che conseguentemente alcune di esse possono essere assunte come obiettivi prevalenti da perseguire. Si tratta di elementi che conformano un sistema di riferimento utile per selezionare in fase progettuale le Key Issue che consentono di valutare gli investimenti secondo logiche eco-sistemiche. Ad esempio, nel caso di interventi in quartieri, le Key Issues prevalenti da considerare attengono a componenti ecologico-ambientali (Food-Nutrition Security, Biodiversity Landscape, Mitigation Land-Soil Degradation), economiche (Economic Benefits-Green Economy) e socio-culturali (Socio-Cultural Value).

A ciascuna Key Issue così individuata, corrispondono uno o più indicatori di performance che, in relazione al quesito valutativo, permettono di determinare, qualitativamente e/o quantitativamente, gli effetti dell'UFP da realizzare.

Nella Tabella 1 sono riportati, in ordine cronologico, i principali indicatori – rilevati attraverso search query su motori di ricerca (scopus, google scholar) – che gli autori

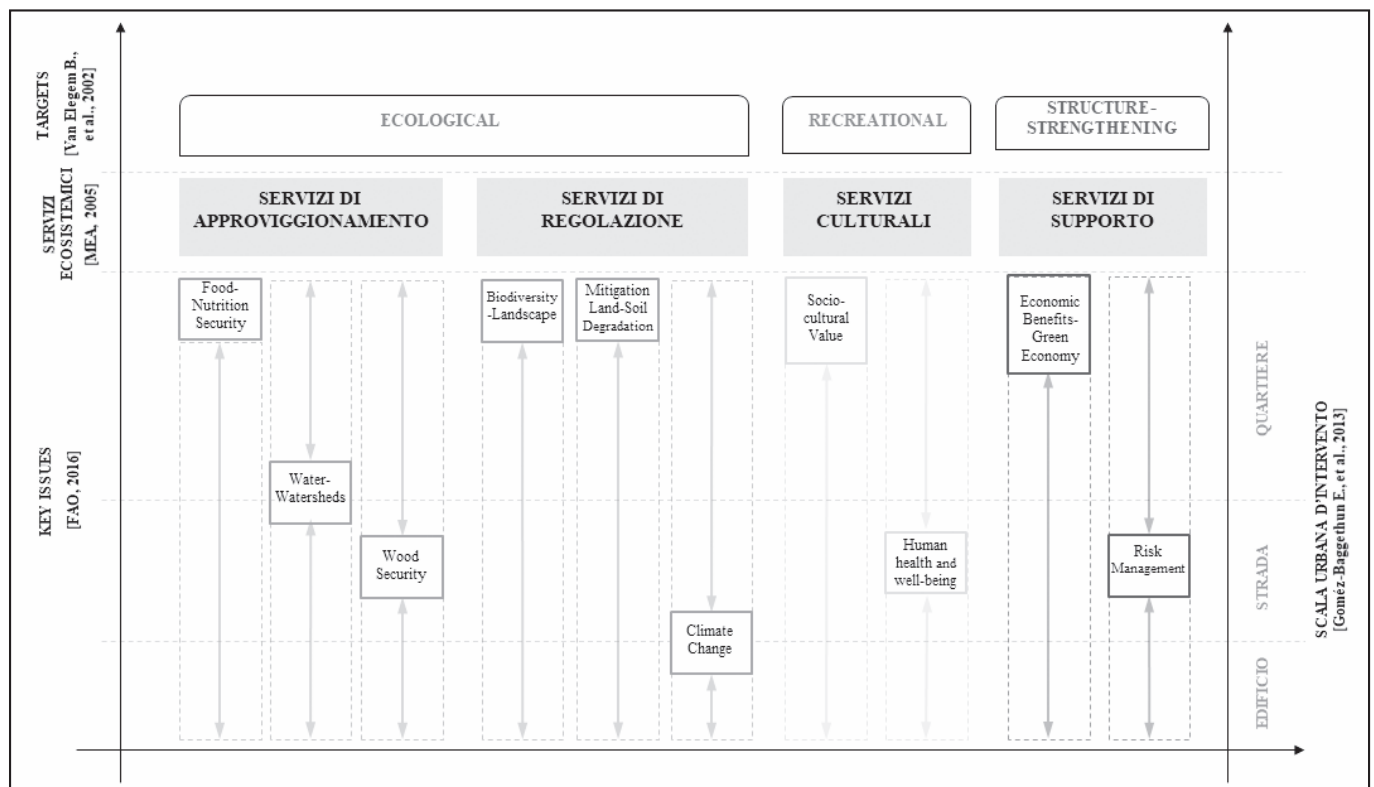


Figura 3 - Key Issues e scale d'intervento.

Controllo della rendita urbana: uno strumento di supporto alle decisioni per la distribuzione ottimale delle risorse tra progetti di forestazione urbana

maggiormente considerati in letteratura nell'ambito delle ricerche sull'urban forest hanno utilizzato per valutare gli impatti prodotti da UFP (Clark et al., 1997; De Groot et al., 2010; Dobbs et al., 2011; Kenney et al., 2011; Barron et al., 2016). Inoltre, sono indicate le relazioni del set di indicatori rilevato con:

- Key Issues (FAO, 2016),
- Ecosystem Services (MEA, 2005),
- Target (Van Elegen et al., 2002),
- Scala progettuale.

Emerge un ampio set di indicatori, che talora pur essendo riferiti ad una analoga performance sono denominati in modo differente dai vari autori. Tali indicatori consentono sia di caratterizzare il contesto in cui ricade l'intervento

sia di esprimere un giudizio multicriteriale sui servizi ecosistemici che si ottengono con la forestazione (Gómez-Baggethun et al., 2013).

Da rilevare che agli inizi della seconda metà del secolo scorso, gli indicatori erano riferiti prevalentemente a questioni valutative di tipo ecologico-ambientali (Clark et al., 1997; Dobbs et al., 2011; Kenney et al., 2011) e di rado di carattere finanziario, sociale o culturale (Van Oudenhoven et al., 2002; Koske et al., 2012; Barron et al., 2016). Questi ultimi cominciano ad assumere una maggiore rilevanza a partire dai primi decenni del XXI secolo, in relazione alla crescente attenzione rivolta ai temi dello sviluppo urbano sostenibile.

Secondo quanto illustrato in Tabella 1, è possibile rag-

Tabella 1 - Set di indicatori

Target	Servizi Ecosistemici MEA 2005	Key Issues FAO 2016	Set di indicatori [Unità di Misura]							Scala progettuale				
			Clark et al. 1997	Van Oudehoven et al. 2002	De Groot et al. 2010	Kenney et al. 2011	Dobbs et al. 2011	Koske et al. 2012	Barron S. et al. 2016	Edificio	Strada	Quartiere		
ECOLOGICO	SERVIZI DI APPROVVIGIONAMENTO	Sicurezza alimentare e nutrizionale	Copertura arborea [m ² di area verde/m ² di area da forestare]	Tipo di copertura del territorio e livello di connessione tra gli elementi del paesaggio [Scala di valutazione qualitativa]	Flora e Fauna esistente [N° di specie di piante e animali]	Copertura arborea [m ² di area verde/m ² di area da forestare]	Copertura arborea [m ² di area verde/m ² di area da forestare]		Copertura arborea [m ² di area verde/m ² di area da forestare]				•	
		Fornitura di materie prime legnose	Tipi di Specie arboree [N° di specie]			Tipi di Specie arboree [N° di specie]	Eterogeneità della foresta urbana [N° di specie]		Grado di diversità della composizione arborea urbana [N° di specie arboree]				•	
			Distribuzione arborea per fasce d'età [N° di alberi per fasce di età]			Distribuzione arborea per fasce d'età	Indice di Shannon [Scala di valutazione qualitativa]							
		Risorsa idrica - Bacini d'acqua			Presenza di superfici d'acqua [m ² di bacini idrici/m ² di area da forestare]									•
	SERVIZI DI REGOLAZIONE	Cambiamento climatico		Carbonio immagazzinato nella vegetazione e in funzione del tipo di uso del suolo [% di CO ₂ sequestrata dall'atmosfera]	Estrapolazione di Aerosol e sostanze chimiche dall'atmosfera			Diminuzione dell'inquinamento atmosferico [% di CO ₂ rimossa dall'atmosfera]	Miglioramento della qualità dell'aria	Miglioramento della qualità dell'aria			•	•

Segue Tabella 1 - Set di indicatori

Segue Tabella 1 - Set di indicatori

Target	Servizi Ecosistemici MEA 2005	Key Issues FAO 2016	Set di indicatori [Unità di Misura]							Scala progettuale		
			Clark et al. 1997	Van Ondehoven et al. 2002	De Groot et al. 2010	Kenney et al. 2011	Dobbs et al. 2011	Koske et al. 2012	Barron S. et al. 2016	Edificio	Strada	Quartiere
ECOLOGICO	SERVIZI DI REGOLAZIONE	Cambiamento climatico		Variazione della concentrazione di polveri sottili in atmosfera	Estrapolazione di Aerosol e sostanze chimiche dall'atmosfera		Aumento della qualità dell'aria per la rimozione del Pm10 [% di Pm10 rimossa]	Miglioramento della qualità dell'aria	Miglioramento della qualità dell'aria			
				Variazione della concentrazione di CO ² in atmosfera [% di CO ² rimossa in atmosfera]			Variazione della concentrazione di CO ² in atmosfera [% di CO ² rimossa in atmosfera]	Regolazione del microclima	Stoccaggio/sequestro di gas serra	•	•	
							Riduzione della temperatura		Risparmio energetico			
		Biodiversità - Paesaggio	Vegetazione autoctona [N° di specie native]	Requisiti di habitat delle specie, capacità di distribuzione	Presenza di specie o componenti abiotiche	Vegetazione autoctona	Rapporto tra alberi autoctoni	Biodiversità	Fornitura di habitat			
				Porosità del suolo, contenuto di umidità	Protezione contro l'erosione		Tasso d'infiltrazione del suolo	Regolazione dell'acqua, fornitura di acqua pulita	Controllo delle acque piovane			
				Contenuto di materia organica del suolo	Protezione contro l'erosione		Infiltrazione del suolo	Protezione dall'erosione del suolo	Aumento della superficie permeabile			
				Capacità di ritenzione idrica del suolo			Densità del terreno					
					Sostanze nutritive del suolo							
					Fertilità del terreno							
		ECONOMICO	SERVIZI DI SUPPORTO	Gestione del rischio		Protezione contro i danni da inondazione	Condizioni degli alberi di proprietà pubblica	Danni alle infrastrutture		Rischio di caduta dell'elemento arboreo		•
Benefici economici	Case vendute in località verdi			Paesaggio- Caratteristiche attraenti della fauna selvatica			Benefici derivanti dal tipo di uso del suolo	Benefici sul mercato immobiliare			•	
RICREATIVO	SERVIZI CULTURALI	Salute umana e benessere		Area residenziale in località verdi			Superficie destinata ad attività ricreative	Spazio per attività ricreative e servizi turistici eco-sostenibili	Salute e benessere delle persone		•	
		Valore socio-culturale		Livello di rumorosità, accessibilità per i residenti, lunghezza dei percorsi pedonali, grado di naturalità, numero e ubicazione delle strutture di ricerca, centri visitatori e uffici informazioni		Idoneità delle specie arboree	Area a verde e distanza dalle strade; superficie destinata ad attività ricreative	Valore estetico delle alberature	Accesso visivo e fisico a zone alberate			•
							Biomasse degli alberi					

Controllo della rendita urbana: uno strumento di supporto alle decisioni per la distribuzione ottimale delle risorse tra progetti di forestazione urbana

gruppare e sinteticamente assimilare ad una denominazione univoca alcuni indicatori in relazione alla performance comune (categorie di indicatori di performance). Questi sono prima da rapportare al tipo di servizio ecosistemico e poi da associare a classi di criteri e sotto-criteri di varia natura. Secondo lo schema logico di Fig. 4, tali classi di criteri (Fig. 4f) sono riconducibili ai tipi di targets in funzione di: obiettivi generali da perseguire (Fig. 4a), scopi di sostenibilità (Fig. 4b) e tipo di servizio eco-sistemico (Fig. 4c-d).

Il complesso sistema di relazioni tra gli elementi di Figura 4 fornisce un utile supporto alla costruzione di modelli valutativi multicriteriali capaci di esprimere gli effetti della forestazione urbana in chiave eco-sistemica e le relative ripercussioni sui valori di rendita fondiaria. Com'è noto, si tratta di modelli che consentono di razionalizzare scelte comandate da obiettivi plurimi e spesso conflittuali. Con essi ciascun obiettivo è valutato attraverso un appropriato criterio di valutazione, a sua volta espresso tramite uno specifico indicatore. In generale, il risultato di un'analisi multicriteri è un profilo di valutazione quali-quantitativo, talvolta anche ricondotto ad un unico indice sintetico di

stima. I modelli in discorso possono essere formulati ricorrendo ad algoritmi di ottimizzazione che, com'è spiegato in Ricerca Operativa, risolvono spesso problemi decisionali complessi attraverso strutture matematiche basate sulla Programmazione Lineare Continua (PLC).

3. IL MODELLO PROPOSTO

Come accennato, l'obiettivo del presente paper è definire e testare un modello di valutazione per l'ottima allocazione di risorse finanziarie disponibili tra UFP, in modo da perseguire il raggiungimento a scala urbana di livelli il più possibile uniformi di servizi eco-sistemici nei diversi quartieri. A tal fine occorre considerare indicatori di performance in grado di rappresentare le tre dimensioni della sostenibilità (ambientale, sociale ed economica). La selezione degli indicatori va fatta alla luce di Figura 4, tenendo conto delle specificità del caso da risolvere. Gli indicatori così scelti permettono di definire lo stato del quartiere in termini di servizi eco-sistemici ex-ante ed ex-post. I valori assunti dagli indicatori in ciascun quartiere occorre siano aggregati con lo scopo di otte-

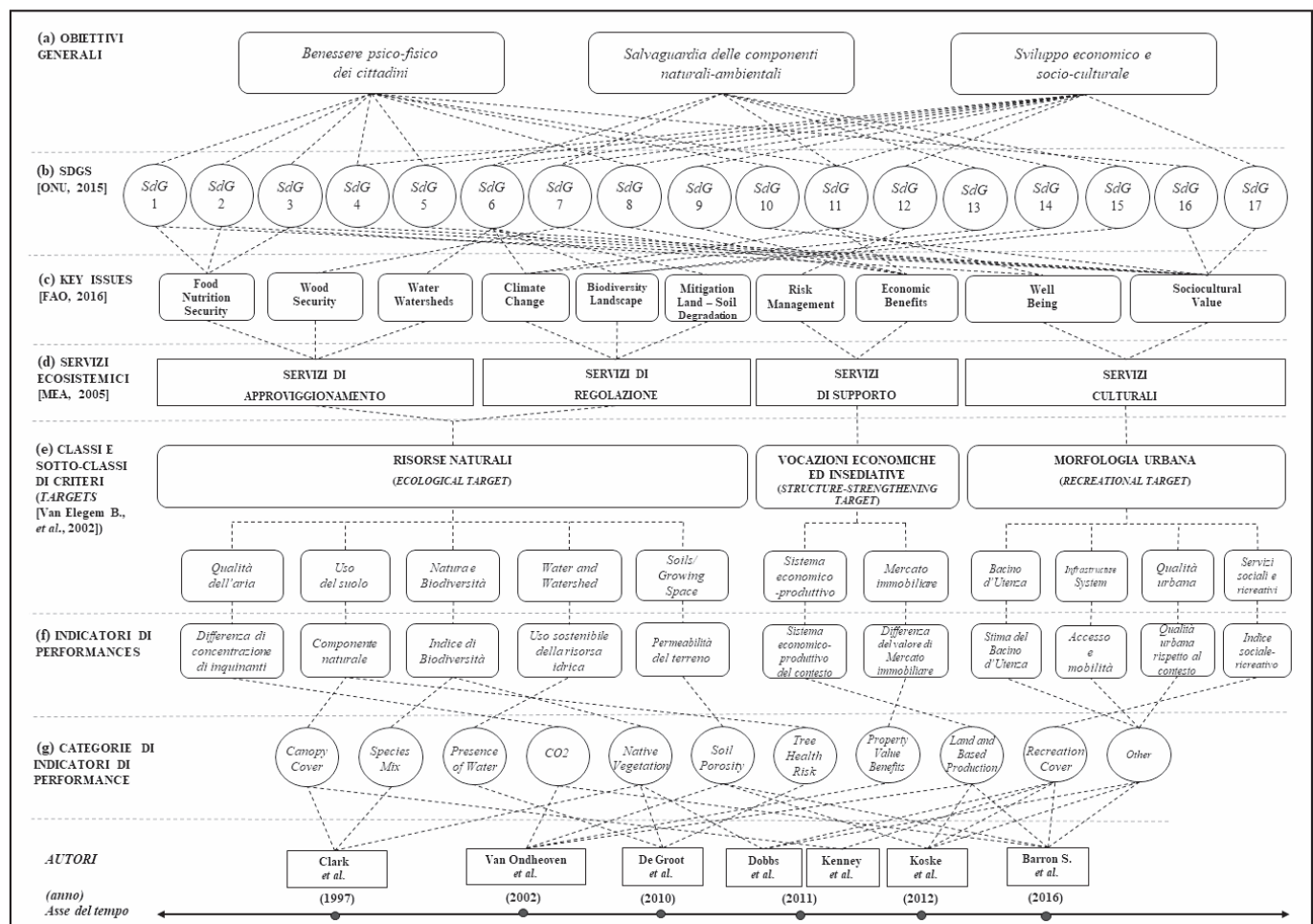


Figura 4 - Sistema di relazioni per la valutazione di progetti eco-sistemici integrati di forestazione urbana.

nera un indice sintetico di valutazione, detto Valore Complessivo (VC), rappresentativo della capacità dell'investimento di perseguire gli obiettivi multipli della forestazione urbana.

L'algoritmo di analisi è compilato nella sintassi propria di "A Mathematical Programming Language" (AMPL). Si tratta di un linguaggio utilizzato per descrivere e risolvere problemi di programmazione matematica, ad esempio di ottimizzazione (Zenios, 1993; Schoen, 2006), anche con riferimento a interventi di riqualificazione urbana (Bekele et al., 2005; Bagstad et al., 2013; Nesticò e Sica, 2017). Tale linguaggio, basato sulla scrittura di un *model file* a cui associare un *data file*, implementa specifici solver (CPLEX, KNITRO, ecc.) e si adatta bene alla modellazione dei casi decisionali in discorso (Fourer et al., 1993; Gay, 1993).

Poiché si tratta di risolvere problemi le cui incognite assumono valori reali (nel caso, ad esempio, di allocazione di risorse tra investimenti) e non soltanto discreti (nel caso, ad esempio, di selezione tra investimenti per la costruzione di un Projects Portfolio), l'algoritmo di valutazione è scritto nei termini della PLC secondo le regole di AMPL (Vanderbei, 2014) con riferimento a interventi di riqualificazione urbana condotti secondo logiche eco-sistemiche (Guarini et al., 2018).

3.1 Gli indicatori di Performance per l'applicazione del modello

Gli indicatori devono misurare le ricadute prevalenti che i UFP generano sul territorio.

La Tabella 2 riporta una possibile selezione degli indicatori di performance. Per ciascun indicatore è specificato: il tipo di servizio eco-sistemico; la Key Issue; il sistema di misurazione; l'unità di misura. I cinque indicatori di performance considerati, in quanto più frequentemente utilizzati in letteratura, sono:

1) Canopy Cover, inteso come «la percentuale di terreno coperta dalla proiezione verticale delle chiome degli

alberi» (Jennings et al., 1999);

- 2) Presenza di riserve idriche, espressa attraverso la superficie occupata da bacini d'acqua di piccole e/o medie dimensioni;
- 3) Grado di vegetazione autoctona, capace di esprimere la biodiversità delle aree da riqualificare in funzione del numero di specie arboree esistenti;
- 4) Indicatori di redditività, come misura dello sviluppo di attività produttive nell'area urbana (Tasso Interno di Rendimento, Valore Attuale Netto o Tempo di Ritorno dell'investimento);
- 5) Superficie destinata a servizi ricreativi, cioè aree destinate allo svolgimento di attività culturali e di servizi sociali-ricreativi, con riguardo al benessere psico-fisico della popolazione residente.

3.2 La struttura del modello decisionale multi-obiettivo

Problemi decisionali multi-obiettivo possono essere risolti nei termini della programmazione lineare, che definisce un sistema logico-operativo del tipo:

$$\begin{cases} C(x) = f(x_1, \dots, x_n) \\ \varphi_{(1, \dots, m)}(x_1, \dots, x_n) \leq b_{(1, \dots, m)} \\ x \in X \end{cases}$$

dove compare una funzione obiettivo $C(x)$, il sistema dei vincoli (φ_m) e il vettore delle variabili x .

In generale, i problemi multi-obiettivo possono essere:

- di ottimizzazione continua, se il vettore \bar{x} assume valori in R_n ;
- di ottimizzazione intera (o discreta), quando le variabili considerate assumono valori in Z_n .

In tutti i casi è importante la scelta dell'algoritmo risolutore, che nell'ambito della PLC coincide spesso con l'algoritmo del semplice, in grado di determinare la solu-

Tabella 2 - Indicatori utilizzati nel modello

Servizi ecosistemici	Key Issues	Indicatore di Performance	Sistema di Misurazione	Unità di Misura
Servizi di Approvvigionamento	Sicurezza alimentare e nutrizionale	Copertura arborea	$\frac{\text{m}^2 \text{ di area verde}}{\text{m}^2 \text{ di area disponibile}}$	%
Servizi di Regolazione	Risorsa idrica - Bacini d'acqua	Presenza di riserve idriche	$\frac{\text{m}^2 \text{ occupata da riserve idriche}}{\text{m}^2 \text{ di area disponibile}}$	%
	Biodiversità	Grado di vegetazione autoctona	N° di specie arboree/arbustive autoctone esistenti	N°
Servizi di Supporto	Benefici economici	Indicatore di redditività	TIR	%
Servizi culturali	Valore socio-culturale	Superficie destinata a servizi ricreativi	$\frac{\text{m}^2 \text{ di superficie per servizi ricreativi}}{\text{m}^2 \text{ di area disponibile}}$	%

zione ottimale attraverso un processo di ricerca iterativo. In concreto, a partire da una funzione di valutazione f del tipo:

$$f : D \rightarrow R$$

viene associato ad ogni possibile alternativa del Decision Domain (D) un indicatore di sintesi, immagine dei dati caratterizzanti lo stato di natura del sistema, definito nel campo dei numeri reali R . Al variare della funzione f possono variare i criteri di scelta, anche per uno stesso problema di valutazione. Ad esempio, la funzione f può restituire il Valore Atteso (VA) per ciascun elemento del dominio (Vercellis, 2008).

In particolare, il criterio del Valore Atteso, carattere sia monetario che non, viene frequentemente impiegato a supporto di analisi in sistemi decisionali stocastici. Esso formalizza l'idea euristica di Valore medio della Decisione D_i , che dipende dalla probabilità di occorrenza $\Pr(GOAL_j)$ per ogni stato S_i di natura del sistema S , frutto di valutazioni formulate con riguardo al Goal j -esimo (G_j) da raggiungere e ai dati caratterizzanti lo stato di natura (S_i, G_j) del sistema i -esimo. Così i termini "probabilità di occorrenza" e "peso" assumono medesimo significato.

In termini matematici valgono le relazioni:

$$\sum_{i=1}^n S_i = S$$

$$\sum_{i=1}^m \Pr(SG_j) = 1$$

$$VA(D_i) = \sum_{j=1}^m \Pr(G_j) VA(S_i, G_j)$$

con $i = 1, \dots, n$
 $j = 1, \dots, m$

Il Valore Atteso VA per l'intero sistema S è quindi:

$$VA = \sum_{i=1}^n VA(D_i) = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \Pr(G_j) VA(S_i, G_j)$$

3.3 L'algoritmo di analisi

Il ricorso a logiche di programmazione lineare continua consente dunque di risolvere il problema della distribuzione di risorse tra quartieri urbani sottoposti a riqualificazione attraverso UFP. Specificamente, ciascuna area è valutata per mezzo di m criteri (con $m > 1$) espressi attraverso i corrispondenti indicatori di performance selezionati. Questi caratterizzano in maniera univoca l'area i -esima, così da restituirne il Valore Complessivo VC (sia iniziale sia atteso) come combinazione lineare dei valori assunti da ciascun indicatore.

Il problema di valutazione così posto può essere risolto considerando un modello matematico secondo cui la decisione di attribuire una parte i delle risorse disponibili

al progetto per l'area i -esima dipende dal ΔVC_i , ossia dalla differenza tra VC_{i_fin} e VC_{i_in} dell'area i -esima sottoposta al progetto i -esimo. In altri termini, i valori VC_{i_fin} e VC_{i_in} corrispondono al Valore Complessivo dell'area i -esima rispettivamente dopo e prima dell'attribuzione di risorse al progetto di forestazione per l'AREA $_i$.

In funzione dell'aliquota di risorse ϵ_i segnata all'area i -esima tale che:

$$\max \sum_i \Delta VC_i \cdot \epsilon_i =$$

$$= \max \sum_i \Delta (VC_{fin} - VC_{in}) \cdot \epsilon_i \quad (1)$$

il calcolo del VC $_{fin}$ risponde ad una semplice formulazione matematica del tipo:

$$VC_{i_fin} = VC_{i_in} + \Delta VC_i \quad (2)$$

L'equazione (2) specifica la relazione analitica tra il valore finale VC_{i_fin} dell'area i -esima e la variabile indipendente ϵ_i del problema da risolvere (Fig. 5).

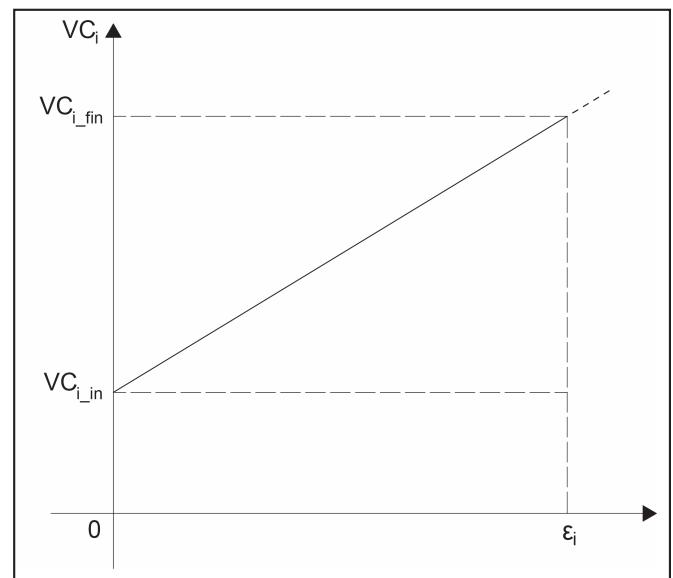


Figura 5 - La relazione lineare d'incremento del Valore Complessivo per l'area i -esima.

Nel rispetto del principio della perequazione, è posta la condizione:

$$VC_{(i-1)_fin} = VC_{i_in} = VC_{(i+1)_fin} \quad (3)$$

che può anche scriversi nella forma:

$$VC_{(i-1)_in} + \Delta VC_{(i-1)} = VC_{i_in} + \Delta VC_i = VC_{(i+1)_in} + \Delta VC_{(i+1)} \quad (4)$$

Tale condizione determina l'assegnazione di maggiori risorse finanziarie alle aree urbane che presentano le più gravi carenze in termini eco-sistemici e pesanti ritardi di sviluppo.

Il vincolo di uguaglianza tra tutti i VC_{i_fin} permette di ottenere dalla (5) le aliquote di risorse finanziarie ϵ_i necessarie per gli incrementi di valore VC_i delle aree:

$$\left\{ \begin{array}{l} \max \sum_i \Delta VC_i \cdot \epsilon_i \\ \epsilon_i > 0 \\ \sum_{i=1}^n \epsilon_i = 1 \\ VC_{(i-1)_fin} = VC_{(i)_fin} = VC_{(i+1)_fin} \end{array} \right. \quad (5)$$

Stabilito il budget complessivo a disposizione, se C_i è il costo d'investimento del progetto di forestazione i-esimo, le relazioni formali nella (5) fanno sì che sia sempre rispettata la (6):

$$\sum_i C_i \cdot \epsilon_i \leq \text{BUDGET} \quad (6)$$

Implementato in AMPL ricorrendo agli algoritmi della PLC, il modello sintetizzato nella (5) assume la struttura di Tabella 3.

Tabella 3 - Modello di ottimizzazione

INSIEMI insieme QUARTIERI; insieme INDICATORI; insieme ALIQUOTE
PARAMETRI param ΔVC ; param VC_{in}
VARIABILI var $\epsilon \{i \text{ in QUARTIERI}\} > = 0$
FUNZIONI OBIETTIVO Massimizza obiettivo: $\text{sum}\{i \text{ in NEIGHBOURHOODS}\} \Delta VC[i] \epsilon [i]$
VINCOLI vincolo 1: $VC_{(i-1)_fin} = VC_{i_fin} = VC_{(i+1)_fin}$

In definitiva, gli n quartieri da riqualificare (set NEIGHBOURHOODS) sono valutati secondo gli m indicatori di sostenibilità selezionati (set INDICATORS). A ciascun quartiere viene assegnata un'aliquota di risorse (set RATES) in funzione del budget disponibile e dell'incremento di Valore Complessivo (param ΔVC) da raggiungere attraverso UFPs.

I valori numerici di VC iniziale dell'area i-esima (param VC_{in}) sono PARAMETERS del sistema da risolvere.

Stabilite le incognite del problema (var $\epsilon \{i \text{ in NEIGHBOURHOODS}\} > = 0$), si procede alla scrittura della funzione obiettivo:

MAXIMIZE objective: $\text{sum}\{i \text{ in NEIGHBOURHOODS}\} \Delta VC[i] \epsilon [i]$.

Tale funzione è soggetta ai CONSTRAINTS sull'incremento di valore delle aree i-esime

s.t. (subject to) constraint 1 : $VC_{(i-1)_fin} = VC_{i_fin} = VC_{(i+1)_fin}$

4. CASO STUDIO

Si considerano sei quartieri di una città da riqualificare attraverso UFP finanziati distribuendo equamente le risorse pubbliche disponibili. L'obiettivo è garantire l'ottimo impiego del budget a disposizione (ipotizzato pari a € 4.200.000) con il fine di massimizzare e rendere omogenei gli effetti eco-sistemici che i progetti generano sul territorio e di rendere meno differenti i valori della rendita urbana. Ciò secondo principi di perequazione volti a raggiungere uniformi livelli finali di qualità urbana.

I valori dei parametri che definiscono il problema, ossia gli attributi che esprimono le dotazioni di servizi eco-sistemici in ogni quartiere prima dell'intervento, sono riportati in Tabella 4. Tali valori vanno riferiti ad un'unica scala di valutazione al fine di renderli confrontabili tra loro. L'operazione di normalizzazione è condotta rapportando ogni attributo al corrispondente valore massimo riscontrato, come in Tabella 5.

Sulla base dei dati normalizzati ottenuti, l'implementazione del modello proposto consente di ottenere per ogni quartiere il Valore Complessivo iniziale (VC_{in}) come sommatoria dei valori dei parametri (ultima colonna di Tabella 5).

Tabella 4 - Matrice dei parametri di valutazione

Quartiere	Copertura arborea [%]	Presenza di riserve idriche [%]	Grado di vegetazione autoctona [N°]	TIR [%]	Superficie destinata a servizi ricreativi [%]
1	10	17	2	5,71	12
2	25	18	3	8,56	8
3	34	28	5	10,35	25
4	17	8	2	6,25	5
5	48	14	1	11,8	20
6	25	4	0	4,1	4

Tabella 5 - Matrice normalizzata dei parametri di valutazione

Quartiere	Copertura arborea	Presenza di riserve idriche	Grado di vegetazione autoctona	TIR	Superficie destinata a servizi ricreativi	VC _{in}
1	0,21	0,61	0,4	0,48	0,48	2,18
2	0,52	0,64	0,6	0,73	0,32	2,81
3	0,71	1	1	0,88	1	4,59
4	0,35	0,29	0,4	0,53	0,2	1,77
5	1	0,5	0,2	1	0,8	3,5
6	0,52	0,14	0	0,35	0,16	1,17

Tabella 6 - Output del modello

Quartiere	1	2	3	4	5	6
ϵ_i	0,1316	0,1226	0,097	0,24	0,1392	0,2693
Risorse finanziarie [€]	552.720	514.920	407.400	1.008.000	584.640	1.131.060

Il valore complessivo finale VC_{fin} è fissato uguale a 5,00 per tutti i quartieri da riqualificare attraverso interventi di forestazione. Esso corrisponde al più alto valore di VC per ogni area d'intervento. È ottenuto dalla somma dei più alti valori che ciascun indicatore può assumere in corrispondenza del quartiere i-esimo.

Specificando in AMPL il solutore *cplex* che implementa l'algoritmo del simplesso, si ottengono le aliquote di risorse ϵ_i da assegnare alle aree da riqualificare. Tali aliquote corrispondono alle porzioni di budget da destinare ai singoli quartieri con lo scopo di massimizzare l'incremento complessivo di qualità urbana ΔVC . Le ϵ_i ottenute dall'algoritmo di analisi, in base ai quali sono attribuiti gli importi monetari a ciascun progetto, sono sintetizzate in Tabella 6.

È evidente che i più alti valori di ϵ_i , quindi i maggiori importi monetari, riguardano le aree con più bassi livelli di VC_{in}. Nell'applicazione, infatti, le somme di € 1.131.060 e di € 1.008.000 attengono rispettivamente ai quartieri 6 e 4, che hanno i più bassi VC_{in}, cioè 1,17 e 1,77. Ciò significa attribuire superiori risorse finanziarie agli ambiti cittadini con più pesanti ritardi di sviluppo. Secondo il principio della perequazione, che porta a garantire lo stesso livello finale VC_{fin} di qualità urbana a tutti i quartieri considerati, i valori delle ϵ_i forniti dal modello producono il massimo Valore Complessivo del sistema esaminato.

5. CONCLUSIONI

L'integrazione tra ambiente naturale e costruito orienta la pianificazione del territorio verso strategie di sostenibilità urbana. In questa prospettiva, l'inserimento di nuove superfici a verde in contesti urbani consolidati (Urban Forestry Projects) consente di perseguire obiettivi plurimi in chiave sostenibile attraverso servizi volti a favorire l'economia dei luoghi, migliorare il benessere della popolazione, promuovere la salvaguardia dell'ambiente ed il razionale uso del suolo. Ciò con effetti di maggiore unifor-

mità dei valori di rendita urbana, soprattutto tra ambiti di città con bassi livelli di vivibilità.

Per valutare iniziative di forestazione, è necessario sviluppare strumenti di valutazione di supporto alle pubbliche amministrazioni. Così da individuare, in rapporto ad un più omogeneo livello di servizi ecosistemici, la migliore allocazione delle risorse monetarie tra alternative di progetto su aree da riqualificare.

Così, col presente lavoro, definito un set di indicatori in funzione del problema valutativo da risolvere e della scala progettuale d'interesse, è proposto l'algoritmo che definisce il modello d'indagine economica. La caratterizzazione del modello si avvale dei principi della Programmazione Lineare Continua, implementati in *A Mathematical Programming Language* (AMPL) che permettono di considerare indicatori di molteplice natura (finanziaria, ambientale, socio-culturale) per definire un Valore Complessivo dell'area sottoposta a UFP. Tale valore costituisce premessa indispensabile per la stima delle aliquote di budget da attribuire a ciascun quartiere. Pure nel rispetto del criterio della perequazione urbana, che si sostanzia nell'equilibrare i valori finali complessivi di ciascun quartiere con lo scopo di uniformare la qualità insediativa tra differenti porzioni di città e conseguentemente i valori della rendita urbana.

È di tutta evidenza il ruolo dello strumento d'indagine e di valutazione proposto, come risulta anche dal caso studio sviluppato, che ne dimostra l'efficacia e la semplicità d'impiego. Nello specifico, il modello si presta a risolvere sistemi decisionali complessi con un alto numero di variabili e molteplici dati, in generale espressi su differenti scale di valutazione. Sia nel caso, ad esempio, in cui occorre stabilire una lista di priorità delle alternative progettuali da realizzare in ambito urbano, sia laddove è necessario stimare l'incremento di valore eco-sistemico per ogni tipo di servizio in corrispondenza della i-esima area sottoposta a UFP in ottica di raggiungere valori più uniformi di rendita urbana. Tramite lo strumento proposto, ciascuna alternativa è valutata in chiave eco-sistemica in-

tegrata, e il meccanismo di selezione e/o misurazione della variazione del tipo di servizio eco-sistemico è condotto per minimizzare la disparità di ricchezza (ambientale, sociale ed economica) tra parti di una stessa città. Al fine di allocare le risorse finanziarie disponibili tra alternative progettuali, il modello fornisce come output l'aliquota da destinare alla singola iniziativa. Da rilevare che i risultati ottenuti dall'algoritmo di analisi non forniscono al-

cuna stima sulla rendita urbana delle aree. Si tratta infatti di una comparazione tra aree da riqualificare nel rispetto dei principi della perequazione e con lo scopo di ottenere uniformità di valori eco-sistemici. La contestualizzazione dei parametri a diverse realtà cittadine, le corrispondenti verifiche di applicabilità dello strumento, nonché l'integrazione del modello con strumenti GIS, delineano interessanti prospettive di ricerca futura.

* **Maria Rosaria Guarini**, Dipartimento di Architettura e Design, Facoltà di Architettura, Università di Roma "Sapienza", 00196 Roma, Italia

e-mail: mariarosaria.guarini@uniroma1.it

** **Antonio Nesticò**, Dipartimento di Ingegneria Civile, Università di Salerno, 84084 Fisciano (SA), Italia

e-mail: anestic@unisa.it

*** **Pierluigi Morano**, Dipartimento di Scienze di Ingegneria Civile e Architettura, Politecnico di Bari, 70125 Bari, Italia

e-mail: pierluigi.morano@poliba.it

**** **Francesco Sica**, Scuola di Dottorato in Architettura e Costruzioni, Dipartimento di Architettura e Design, Facoltà di Architettura, Università di Roma "Sapienza", 00196 Roma, Italia

e-mail: francesco.sica@uniroma1.it

Riconoscimenti

M.R.G., A.N., P.M., F.S. hanno ideato, strutturato e redatto l'articolo in parti uguali. In particolare, M.R.G. e F.S. hanno raccolto le risorse bibliografiche; A.N. e F.S. hanno implementato il software; M.R.G. e P.M. hanno convalidato i risultati dei calcoli; A.N. e M.R.G. hanno supervisionato lo sviluppo del lavoro.

Bibliografia

ASARA V., OTERO I., DEMARIA F., CORBERA E., *Socially sustainable degrowth as a social-ecological transformation: Repoliticizing sustainability*, Sustainability Science, Vol. 10, 2015, pp. 375-384.

BAGSTAD K.J., SEMMENS D.J., WAAGE S., WINTHROP R., *A comparative assessment of decision-support tools for ecosystem services quantification and valuation*, Ecosystem Services, 5: 2013, pp. 27-39.

BARÓ F., CHAPARRO L., GÓMEZ-BAGGETHUN E., LANGEMEYER J., NOWAK D.J., TERRADAS J., *Contribution of ecosystem services to air quality and climate change mitigation policies: the case of urban forests in Barcelona. Spain*, Ambio., Vol. 43 (4), 2014, pp. 466-479.

BARRON S., SHEPPARD S.R.J., CONDON P.M., *Urban Forest Indicators for Planning and Designing Future Forests*, Forests, Vol. 7, 208, 2016, pp. 1-17.

BEKELE E.G., NICKLOW J.W., *Multiobjective management of ecosystem services by integrative watershed modeling and evolutionary algorithms*, Water Resources Research, Vol. 41(10), 2005, pp. 1-10.

CHU M.T., SHYU J., TZENG G.H., KHOSLA R., *Comparison among three analytical methods for knowledge communities group-decision analysis*, Expert Syst Appl, Vol. 33(4), 2007, pp. 1011-1024.

CLARK J.R., MATHENY N.P., CROSS G., WAKE V., *A model of urban forest sustainability*, J. Arboric., Vol. 23, 1997, pp. 17-30.

COUTTS A.M., TAPPER N.J., BERINGER J., LOUGHNAN M., DEMUZERE M., *Wateringour cities: the capacity for water sensitive urban design to support urbancooling and improve human thermal comfort in the Australian context*, Prog.Phys. Geogr. Vol. 37(1), 2013, pp. 2-28.

DE GROOT R.S., ALKEMADE R., BRAAT L., HEIN L., WILLEMEN L., *Challenges in integrating the concept of ecosystem services and values in landscape planning, management and decision making*, Ecol. Complex, Vol. 7, 2010, pp. 260-272.

DOBBS C., ESCOBEDO F.J., ZIPPERER W.C., *A framework for developing urban forest ecosystem services and goods indicators*, Landsc. Urban Plan., Vol. 99, 2011, pp.196-206.

DONOVAN G.H., BUTRY D.T., *The effect of urban trees on the rental price of single-family homes in Portland, Oregon*, Urban forestry & Urban Greening, Vol. 10, 2011, pp. 163-168.

ENDRENY T., *Strategically growing the urban forest will improve our world*, Nature communications, Vol. 9(1), 2018, pp. 1-3.

EUROPEAN ENVIRONMENT AGENCY, *Land system at European level - Analytical assessment framework European*,

Briefing no. 10/2018, (scaricabile dal sito internet: <https://www.eea.europa.eu/themes/landuse/land-systems/land-system-at-european-level>, consultato on line il 16 gennaio 2019).

EUROPEAN COMMISSION, *A new EU Forest Strategy: for forests and the forest-based sector*, COM (2013) 659, Brussels, 2013 (scaricabile dal sito internet: https://ec.europa.eu/agriculture/forest/strategy/communication_en.pdf, consultato on line il 28 gennaio 2019).

EUROPEAN COMMISSION, *The State of European Cities: Cities Leading the Way to a Better Future; Publications Office of the European Union: Luxembourg*, 2016 (scaricabile dal sito internet: http://ec.europa.eu/regional_policy/sources/policy/themes/citiesreport/state_eu_cities2016_en.pdf, consultato on line il 28 gennaio 2019).

EUROPEAN COMMISSION, *Directive 2007/2/EC of the European parliament and of the council of 14 march 2007 establishing an infrastructure for spatial information in the European community (INSPIRE)*, 2007 (scaricabile dal sito internet: <https://eur-lex.europa.eu/legalcontent/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32007L0002&from=EN>, consultato on line il 16 gennaio 2019).

EUROPEAN COMMISSION, *Leipzig Charter on Sustainable European Cities*, CdR 163/2007 EN-COM/SAB/lc, 2007.

FAO, *Guidelines on urban and peri-urban forestry*, Forestry Paper, No. 178, 2016.

FOURER R., GAY D.M., KERNIGHAN B., *AMPL: A Modeling Language for Mathematical Programming*, Boyd & Fraser, Danvers, MA, USA, 1993.

GAY D.M., *Hooking Your Solver to AMPL*, Technical Report 93-10, AT&T Bell Laboratories, Murray Hill, NJ, USA, 1993.

GOMÉZ-BAGGETHUN E., DE GROOT R., LOMAS P.L., MONTES C., *The history of ecosystem services in economic theory and practice: From early notions to markets and payment schemes*, Ecological Economics, Vol. 69 (6), 2009, pp. 1209-1218.

GONZALEZ M.J.G., *Planning, Urban Sprawl and Spatial Thinking*, European Journal of Geography, Vol. 8(1), 2017, pp. 32-43.

GUARINI M.R., NESTICO A., MORANO P., SICA F., "A Multicriteria Economic Analysis Model for Urban Forestry Projects", in Calabrò F., Della Spina L., Bevilacqua C. (a cura di), *New Metropolitan Perspectives. Local Knowledge and Innovation Dynamics Towards Territory Attractiveness Through the Implementation of Horizon/E2020/Agenda 2030*, Springer: Cham, Switzerland, 2018, pp. 564-571.

GUITOUNI A., MARTEL J.M., VINCKE P., NORTH P.B., *A Framework to Choose a Discrete Multicriterion Aggregation Procedure*, Defence Research Establishment Valcartier (DREV), Ottawa, ON, Canada, 1998.

HANSEN R., FRANTZESKAKI N., MCPHEARSON T., RALL E., KABISCH N., KACZOROWSKA A., PAULEIT S., *The uptake of the ecosystem services concept in planning discourses of European and American cities*, Ecosystem Services, Vol. 12, 2015, pp. 228-246.

HARDIN P.J., JENSEN R.R., *The effect of urban leaf area on summertime urban surface kinetic temperature: A Terre Haute case study*, Urban Forestry & Urban Greening, Vol. 6, 2007, pp. 63-72.

HEAL G.M., BARBIER E.B., BOYLE K.J., COVICH A.P., GLOSS S.P., HERSHNER C.H., HOEHN J.P., PRINGLE C.M., POLASKY S., SEGERSON K., SHRADER-FRECHETTE K., *Valuing Ecosystems Services: Toward Better Environmental Decision-Making*, National Research Council, Washington DC, 2005.

ISHIZAKA A., NEMERY P., *Multi-Criteria Decision Analysis: Methods and Software*, John Wiley & Sons, Hoboken, NJ, USA, 2013.

JENNINGS S.B., BROWN N.D., SHEIL D., *Assessing forest canopies and understorey illumination: canopy closure, canopy cover and other measures*, Forestry: An International Journal of Forest Research, Vol. 72(1), 1999, pp. 59-74.

KENNEY W.A., VAN WASSENAER P.J., SATEL A.L., *Criteria and indicators for strategic urban forest planning and management*, Arboric. Urban For., Vol. 37, 2011, pp. 108-117.

KONIJNENDIJK C., KJELL N., RANDDRUP T., SCHIPPERINI J., *Urban forest and trees*, Springer Verlag, Amsterdam, 2005.

KONIJNENDIJK C.C., NILSSON K., RANDRUP T.B., SHIPPERIJN J., *Defining urban forestry. A comparative perspective of North America and Europe*, Urban Forestry & Urban Greening, Vol. 4, 2006, pp. 93-103.

KOSKE I., FOURNIER J.M., *The determinants of earnings inequality: evidence from quantile regressions*, OECD Journal: Economic Studies, Vol. 1, 2012, pp. 7-36.

MEA, MILLENNIUM ECOSYSTEMS ASSESSMENT, *Ecosystems and Human Well-Being: Current State and Trends*, Island Press, Washington, DC, 2005.

MORANO P., TAJANI F., *Saving soil and financial feasibility. A model to support public-private partnerships in the regeneration of abandoned areas*, Land Use Policy, Vol. 73, 2018, pp. 40-48.

NESTICÒ A., SICA F., *The sustainability of urban renewal projects: a model for economic multi-criteria analysis*, Journal of Property Investment and Finance, Vol. 35, 2017, pp. 397-409.

NESTICÒ A., GUARINI M.R., MORANO P., SICA F., *An Economic Analysis Algorithm for Urban Forestry Projects*, Sustainability, Vol. 11(2), 314, 2019, pp. 1-13.

OPRICOVIC S., TZENG G.H., *Extended VIKOR method in comparison with outranking methods*, European Journal of Operational Research, Vol. 178(2), 2007, pp. 514-529.

OSTOI S.K., KONIJNENDIJK VAN DEN BOSCH C.C., *Exploring global scientific discourses on urban forestry*, Urban Forestry & Urban Greening, Vol. 14(1), 2015, pp. 129-138.

ROY B., *The optimisation problem formulation: Criticism and overstepping*, J. Oper. Res. Soc., Vol. 32, 1981, pp. 427-436.

SCHOEN F., *Modelli di ottimizzazione per le decisioni*,

Società Editrice Esculapio, Bologna, 2006.

STIRN L.Z., *Integrating the fuzzy analytic hierarchy process with dynamic programming approach for determining the optimal forest management decisions*, Ecological Modelling, Vol. 194, 2006, pp. 296-305.

TERMORSHUIZEN J.W., OPDAM P., VAN DEN BRINK A., *Incorporating ecological sustainability into landscape planning*, Landscape and Urban Planning, Vol. 79, 2007, pp. 374-384.

TORRE C. M., MORANO P., TAJANI F., *Saving soil for sustainable land use*, Sustainability, Vol. 9, 350, 2017, pp. 1-32.

UNITED NATIONS, *Transforming Our World: The 2030 Agenda for Sustainable Development*, A/RES/70/1, 2015 (scaricabile dal sito internet: http://www.un.org/en/ga/search/view_doc.asp?symbol=A/RES/70/1, consultato on line il 28 gennaio 2018).

VANDERBEI R.J., *Linear programming. Foundations and Extensions*, Heidelberg: Springer, New York, USA, 2014.

VAN ELEGEM B., EMBO T., MUYS B., LUST N., *A methodology to select the best locations for new urban forest using*

multicriteria analysis, Forestry, Vol. 75, 2002, pp. 13-23.

VAN OUDENHOVEN A.P.E., PETZ K., ALKEMADE R., HEIN L., DE GROOT R.S., *Framework for systematic indicator selection to assess effects of land management on ecosystem services*, Ecological Indicators, Vol. 21, 2012, pp. 110-122.

VERCELLIS C., *Ottimizzazione, Teoria, metodi e applicazioni*, The McGraw-Hill Companies, Milano, 2008.

ZENIOS S.A. (ed.), *Financial optimization*, Cambridge University Press, Cambridge, 1993.

ZHENG D., DUCEY M.J., HEATH L.S., *Assessing net carbon sequestration on urban and community forests of northern New England, USA*, Urban Forestry & Urban Greening, Vol. 12, 2013, pp. 61-68.

WILSON M.A., HOWARTH R.B., *Discourse-based valuation of ecosystem services: establishing fair outcomes through group deliberation*, Ecological Economics, Vol. 41(3), 2002, pp. 431-443.

WOLFSLEHNER B., VACIK H., LEXER M.J., *Application of the analytic network process in multicriteria analysis of sustainable forest management*, Forest Ecology and Management, Vol. 207, 2005, pp. 157-170.