

Economics for sustainability: Impacts on the Real Estate Appraisal and Economic Evaluation of Projects

Original

Economics for sustainability: Impacts on the Real Estate Appraisal and Economic Evaluation of Projects / Fregonara, E., Barreca, A.. - In: VALORI E VALUTAZIONI. - ISSN 2036-2404. - ELETTRONICO. - 2021:29(2021), pp. 5-22. [10.48264/VVSIEV-20212903]

Availability:

This version is available at: 11583/2959274 since: 2022-03-23T15:47:07Z

Publisher:

Dei Tipografia del Genio Civile

Published

DOI:10.48264/VVSIEV-20212903

Terms of use:

This article is made available under terms and conditions as specified in the corresponding bibliographic description in the repository

Publisher copyright

(Article begins on next page)

Economics for sustainability: impacts on the Real Estate Appraisal and Economic Evaluation of Projects

Elena Fregonara*, Alice Barreca**

keywords: circular economy, weak sustainability, sustainable architecture, hedonic models, geospatial statistics, life cycle approaches

Abstract

The aim of this piece of work is to present the recent developments of the discipline of Real Estate Appraisal and Economic Evaluation of Projects in relation to Sustainable Architecture and its design. The focus is on the principles borrowed from economics and, in particular, on the transition from a linear to a circular thinking and the related impacts on estimative theories and practices. Starting from the urgency of the underlying problems, Life Cycle Thinking is recalled within which the theories of the Green Economy, the Circular Economy and, recently, the Helical Economy are developed. The reasoning then recalls some passages of disciplinary evolution to include the public, environmental and social dimension. A methodological survey follows with attention to the recent – and now almost consolidated – approaches for projects evaluation and market analysis, attributable to

international energy-environmental policies. In terms of the evaluation of new construction projects or retrofitting existing assets, the transition from the financial perspective, in terms of Linear Economy, to the perspective of economic-energy-environmental sustainability, from a Circular Economy perspective, is a central point. From the point of view of market analysis, the importance of exploring the impact of sustainable architecture on the values and dynamics of supply and demand is underlined. The results of the work show that the use of life cycle valuation is essential for the reuse of resources, but also for the containment of their consumption in the production phase. The use of tools capable of jointly analyzing energy and costs could guide decision-making processes between different design options, encouraging conversion and efficiency strategies, even in contexts of weak sustainability.

1. INTRODUCTION

In a general framework very shifted towards automation and digitization, the need for highly specialized professionals is growing, with skills able to put into practice the transfer of innovation. For the real estate sector and building production at all scales, these skills also and in particular concern the field of economic

evaluations in synergy with the concept of “Sustainable Architectural Design”. Sustainable design is also defined as Integrated Design Process (IDP), which is the design approach that integrates systems, structures and practices within the process that collaboratively exploits the specificities of all the actors involved to obtain an optimal project result. The IDP helps to reduce waste by maximizing efficiency through all the design and

construction phases by incorporating in the design all the elements useful to reduce energy consumptions and dispersions such as, for example: production of energy through renewable sources, use of efficient (active) plant and a study of the (passive) envelope with efficient bioclimatic characteristics (Karlessi, et al. 2017).

Considering the fact that almost 50% of the Union's final energy consumption is used for heating and cooling, of which 80% in buildings, reducing the environmental impact of buildings is one of the priorities for addressing climate change and other sustainability challenges, in line with the international Sustainable Development Goals (EU Directive 2018/844). Renovated and sustainable buildings in the EU will help pave the way for a decarbonized and clean energy system. Currently only 1% of buildings undergo energy renovations every year, so the energy retrofit of existing buildings is an effective and fundamental action to be increased make Europe climate neutral (Net Zero Emissions) by 2050. Currently, around 75% of buildings in the EU are not energy efficient, but 85-95% of buildings today will still be in use in 2050 (European Commission, A Renovation Wave, 2020). At the European level, the Member States of the European Union ratified the Paris Agreement (COP21) in December 2015, undertaking the path towards a climate-neutral economy and society by 2050.

On the regulatory level, environmental issues have also been addressed at European level since the 2000s, with the issuance of the first Energy Performance of Buildings Directive in 2002 (EPBD-Directive 2002/91/EC) and subsequent updates such as EPBD-Directive 2010/31/EU and the most recent EPBD-Directive 2018/844/EU and integrations (Commission Delegated Regulation EU, n. 244/2012). In addition, in order to strengthen the ecological transition processes and to accelerate energy efficiency interventions in the face of the urgency of environmental issues, the Communication "A Renovation Wave for Europe- greening our buildings, creating jobs, improving lives" (European Commission, 2020) was presented by the European Commission to the European Parliament in October 2020. The document assumes that retrofit interventions and the construction of green buildings can not only support the achievement of decarbonization objectives, but also act as economic leverage, triggering among other things processes of enhancement of the real estate. All the more so in the current situation of economic weakening caused by the Covid-19 pandemic. Moreover, the Italian economy has been hit by the same pandemic before and more heavily than other European countries, as stated by the President of the Council of Ministers Draghi, at the opening of the National Recovery and Resilience Plan – PNRR, within the Next Generation EU Program. In relation to Mission 2 – "Green Revolution and Ecological Transition", the Plan provides for measures and resources aimed at energy efficiency and the redevelopment of the public and private building stock, together with measures and resources for the Circular

Economy and sustainable agriculture, renewable energy, sustainable mobility, protection of the territory and water resources.

In terms of research and experimentation, the principles of Circular Economy, Zero Carbon Architecture, Environmental Building Design and the Sustainable Architecture Design Approach are urging the design/production of energy-efficient and globally performing buildings.

Legislation, international policies and research, involving the skills of diversified and interconnected scientific (and professional) fields, take on the territorial dimension and lay the foundations for the transition to circular cities.

Seizing these transformations in progress, the discipline of Real Estate Evaluation has evolved in recent years on the methodological level towards two main directions. On the side of building production, towards the development of economic evaluation tools to support investment choices between alternative project / technological scenarios with a view to optimizing costs in relation to energy performance, given the minimum requirements of the legislation. On the market side, towards the analysis of the impact of the energy performance of buildings on price formation processes and supply/demand dynamics.

Therefore, the aim of the work is to present a *big picture* on the tools that the discipline has recently developed with respect to the problems related to sustainable design, with sinkings on the contributions borrowed from Economics or, we can say, from the "Economics for sustainability".

From the reading of the experiences of recent years, in research as in teaching, it is a rather strengthened role of evaluation, which captures the potential of life cycle approaches not only from the point of view of the investor / manager who operates at urban level, but also of the community / public decision-maker (given the presence of the effects on the environment) and the buyer / producer (given the presence of effects on market prices). We read precise research trajectories on issues which, due to the topicality or urgency of the underlying problems, are at the center of attention at international/national level. It emerges, for example, for reasons much argued in the literature, the need to study the relationship between real estate values and energy performance of buildings, passing from the analysis of the energy class only on prices to the analysis of the "green" attributes of buildings, also in relation to building types and the spatial location of the buildings themselves. In addition, always according to a microeconomic vision, the need emerges to explore the integration between the tools for the assessment of financial feasibility and the life cycle analysis, able to internalize also environmental and value components, bringing the concept of life cycle back to the territorial / urban and market level.

Assuming these premises, the article is articulated as follows. Section 2 refers to some of the main theoretical

contributions borrowed from the Economics to support economic evaluations with a view to sustainability. Section 3 takes up some steps of the disciplinary evolution, with particular regard to the most recent experiences and operational tools. Section 4 concludes the work.

2. ECONOMICS FOR SUSTAINABILITY

The framework of the contributions that the Real Estate Evaluation borrows from Economics is very articulated and complex to synthesize. However, it is possible to

recall at least some key concepts and draw attention, in this paper, to the elements of the Economics for the sustainability of projects.

From the literature and current issues two key aspects are identified: on the one hand, the transition from the Linear Economy to the Circular Economy starting from the principles of Life Cycle Thinking (LCT); on the other, the evolution towards Sustainable Architectural Design, starting from the principles of circular economy and sustainability. Below is a brief review of the recent literature on the subjects (Table 1).

Table 1 -Reasoned bibliography (Source: elaboration of the authors)

Macro-themes	Authors and year	Nation	Objectives	Main results
Life Cycle Thinking	Smith et. al., 2009	California, United States	The authors describe some reviews of the sensitivity of the Reasons For Concern (RFC - declared in the United Nations Framework Convention on Climate Change, 1992) to the increase of the Global Mean Temperature (GMT), and define a deeper understanding of the concept of vulnerability that has been evolved over the past 8 years. On the basis of the expert judgment, they sought a more careful articulation of the criteria according to which any specific vulnerability can be defined as a Reasons For Concern for the future.	The shift in risk transitions towards lower Global Mean Temperatures (GMTs) results from the assessment of: (i) enhanced observations of impacts that have already occurred due to warming to date, (ii) better understanding and confidence in the probability of climatic events and the magnitude of impacts and risks associated with GMT increases, (iii) more precise identification of the most affected sectors, groups and regions, and (iv) growing evidence that even modest increases in GMT above levels around 1990 could expose the climate system to the risk of very serious impacts on different time scales.
	UNEP, 2012	France	The publication marks 10 years of UNEP / SETAC's work on the "Life Cycle Initiative" and provides an insight into current practice of life cycle approaches. It also shows the evolutions that the Life Cycle Assessment has undergone over the years and how the development of Life Cycle Thinking has paralleled the evolution of the Environmental Movement.	The results of this study based on the collection of research, methodologies, challenges and best practices analyzed over the 10 years of activity show that from 1992 onwards, Life Cycle Thinking has provided a conceptual basis for the development and refinement of approaches and tools that are now commonly found in the private and public sectors, and which are already stimulating and supporting the transition to a Green Economy. Also summarizing the results of the RIO + 20 Summit, the document shows how changes are already underway and have created a spillover effect along entire supply chains, going beyond single companies, crossing different sectors, and touching both developed and developing countries.
	Kim and Lim, 2016	Korea	The study focuses on resilience in relation to cities and climate change.	This study presents a conceptual framework for urban resilience in the context of climate change: phenomena resulting from abrupt climate change and those resulting from slow and constant changes.

Follows Table 1 - Reasoned bibliography (Source: elaboration of the authors)

Follows Table 1 - Reasoned bibliography (Source: elaboration of the authors)

Macro-themes	Authors and year	Nation	Objectives	Main results
Life Cycle Thinking	Giorgi et al., 2017	Italy	The article reports the results of an analysis of the state of the art on the theme of the circular economy with the aim of returning the theoretical foundations, interpretations, and policies, as well as to verify the role that life cycle evaluation tools play in the research conducted in this area.	Through the critical reading of 50 recent articles, different interpretations and strategies related to the theme of the circular economy were detected; in addition, the main levers of action for the introduction of the circular economic model (cost reduction / reduction of environmental impacts, waste management / scarcity of resources) were highlighted. In particular, the analysis revealed a still limited role of life cycle tools in verifying the benefits that can be pursued with the activation of Circular Economy processes.
	MacArthur (2019)	Cowes, United Kingdom	The work highlights the indispensable role that the circular economy plays in tackling the Climate Crisis.	Initial results indicate that the circular economy offers unique potential to increase resilience to the physical effects of Climate Change and the work aims to initiate a deeper exploration of the topic. Finally, by setting clear priorities, the document calls on governments, businesses, investors, and academia to complement their efforts to respond to Climate Change with those to accelerate the transition to a Circular Economy.
Green Economy, Circular Economy, Helical Economy	UNEP, 2011	France	The work addresses some of the emerging challenges across the planet from climate change and species loss to desertification and land degradation.	The report supports the economic and social cause of investing two percent of global GDP in the "greening" of ten central sectors of the economy in order to shift development and free public and private capital flows on a low-carbon and resource-efficient path.
	MacArthur, 2012	Cowes, United Kingdom	The report aims to show a model of the economy in which today's goods are tomorrow's resources, forming a virtuous circle that fosters prosperity in a world of limited resources, in contrast to traditional take-make-dispose patterns.	The Foundation's report paints a clear picture: our linear take-make-dispose approach is leading to scarcity, volatility, and price levels that are inaccessible to the manufacturing base of our economy. It offers a new perspective on what a transition path to a Circular Economy on a global scale could look like. It aims to "integrate" the Circular Economy as a credible, powerful, and lasting response to our current and future challenges in terms of growth and resources.
	Jawahir e Bradley, 2016	Kentucky, Stati Uniti	Questo documento presenta i principi della produzione sostenibile e fornisce gli elementi tecnologici per garantire la creazione di un'economia circolare. Gli elementi tecnologici basati sulle 6R sono identificati e mostrati come ingredienti essenziali per conseguire la crescita economica, la protezione dell'ambiente e i benefici sociali.	Affrontando solo il pilastro economico della sostenibilità, la valutazione proposta è stata applicata nell'ambito della simulazione di un'attività di selezione del materiale di un determinato componente generico a vantaggio in termini di costi del ciclo di vita complessivo dell'implementazione degli elementi 6R.

Follows Table 1 - Reasoned bibliography (Source: elaboration of the authors)

Follows Table 1 - Reasoned bibliography (Source: elaboration of the authors)

Macro-themes	Authors and year	Nation	Objectives	Main results
Green Economy, Circular Economy, Helical Economy	Bradley and Jawahir, 2019	Kentucky, United States	The document proposes the concept of Helical Economy (HE) as a new extension of the Circular Economy that enables continuous innovation and economic growth by leveraging an Internet of Things (IoT) infrastructure and imagining new products, processes, and systems.	The results highlight the progress made by the Helical Economy (HE): increasing sustainable value through the use of all 6R elements, increased innovation and economic growth, and a different consideration of the transitional state. These advances enable education to support the economic mobility of developing countries, population growth and the cancellation of obsolescence. The context of the HE was then presented for the implementation of the IoT infrastructure and the redesign at the system level, at the product and process level.
Environmental Economics and Neoclassical Economics	Munda, 1997	Spain	This document presents a thematic discussion on economic approaches to sustainable development concepts. The concept of sustainable development is widely discussed and the argument that it is not possible to consider sustainability only from an economic and ecological point of view is defended.	Two different economic approaches to the environmental issue are compared, namely neoclassical environmental economics and ecological economics. The results highlighted some differences such as weak versus strong sustainability, commensurability versus incommensurability, and ethical neutrality versus acceptance of different values.
	Arthur Pigou, 1932)	New York, U.S.A.	The text defines the Economics of Welfare as a field of study. It analyzes the relationship between national income, its distribution and total economic well-being, sizing income with respect to the allocation of resources in the economy and the institutional structure that governs the operations of the labor market.	The results of the text remain relevant for the contemporary economy, some of the most important are the analyses carried out on public goods and externalities, the criteria for measuring well-being, the problems related to the use of certain consumption indices, price discrimination, the structure for social equity and public finance.
	Stiglitz et al., 2009	California, U.S.A.	The report has the task of: determining the limits of Gross Domestic Product (GDP) as an indicator of economic results and social progress, identifying the information that may be necessary to lead to greater relevance of the indicators of social progress, evaluating the feasibility of new measurement tools and discuss the appropriate presentation of related statistics.	Neither private accounting nor public accounting were able to warn us in time of the collapse of the world economy in terms of growth between 2004 and 2007. It is also clear that all those projections were based on prices obtained thanks to a "speculative bubble" which by bursting caused the market crisis. The report shows that with a more reliable and accurate national statistical system, many governments could have taken steps in advance to avoid, or at least mitigate, the crisis and its long-term effects.
	Karlessi, T., et al. (2017).	Greece	This document highlights the principles of the integrated design procedure and links its process with smart building technologies. Energy efficiency methodologies and innovative techniques applied at the building level are presented. Finally, in the framework of European policies, trends and	The work addresses a holistic perspective on the main components of Smart Grids such as alternative technologies for renewable energy, smart meters, and technological platforms for operation through IP connectivity. Research activities in the Smart GEMS project include multidisciplinary efforts in

Follows Table 1 - Reasoned bibliography (Source: elaboration of the authors)

Follows Table 1 - Reasoned bibliography (Source: elaboration of the authors)

Macro-themes	Authors and year	Nation	Objectives	Main results
Environmental Economics and Neoclassical Economics	Karlessi, T., et al. (2017).	Greece	perspectives related to Integrated Design as a support tool for the goal of “near-zero energy” in buildings are analyzed.	establishing generalized principles and effective integrative techniques through modeling and testing a broad framework of applications to guide the future design and implementation of Smart Grids. Table 1. Reasoned bibliography (Source: elaboration of the authors)

2.1 From the Linear Economy to the Circular Economy

The transition from the Linear Economy to the Circular Economy was born from the principles of Life Cycle Thinking (LCT), within which the principles of the Green Economy, the Circular Economy and, finally, the Helical Economy are developed in cascade. This passage is taken up by the Real Estate Evaluation which had already grasped the principles of Environmental Economics and the Welfare Economics and, with them, the openness to economic evaluation in public contexts.

2.1.1 Life Cycle Thinking

Life Cycle Thinking is introduced here starting from some premises and, in particular, from the role played by climate change in current and future economic scenarios. In fact, the results of the World Economic Forum (McLennan, 2021) show that the most relevant long-term risks to which the global economy will be subject in the near future will concern climate change, both in terms of the probability of verification of the related impacts, and in terms of the weight of economic expenditure to be incurred to remedy its effects. The critical issues associated with ongoing climate change are accentuating the limits of the current linear economic system and, at the same time, are accelerating the development of new economic models for sustainability, in particular environmental and social.

The complex climate change system can be divided into two main categories (Kim and Lim, 2016): (i) variations in climatic conditions, which relate to ongoing slow changes; (ii) meteorological variability, which refers to sudden and violent changes. Changes in climatic conditions concern slow phenomena such as rising temperatures and sea levels, along with the constant increase in the rate of precipitation. Although these changes may not be immediately harmful to society, they could cause serious damage over a period of 50-100 years; moreover, once they occur, they are irreversible. Sudden and violent changes resulting from climate variability, on the other hand, include damage from storms, floods and other types of destruction, due to unusual weather patterns. Climate change could cause typhoons, heavy rains, droughts, heat waves and snowstorms of

unprecedented magnitude in the near future. Efforts to counter both – slow changes and sudden changes – have focused mainly on the critical role of measures related to renewable energy and energy efficiency. However, meeting climate targets will also require addressing the remaining 45% of emissions associated with industrial production.

In close connection with these premises, the concept of resilience has recently become central to sustainable development in response to vulnerability from external shocks and stresses (including climate change). The conceptual link between resilience and urban sustainability can be explained in terms of risk reduction of disasters (natural and anthropogenic) related to climate change (Kim and Lim, 2016). In particular, the concept of resilience emphasizes flexibility, diversity and adaptive learning to complement established socio-economic management pillars, such as *optimality*, efficiency, stability and risk management (Kim and Lim, 2016). The Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) defines resilience as “the ability of social, economic and environmental systems to cope with dangerous events, responding or reorganizing in ways that maintain their essential function, identity and structure while maintaining, at the same time, their capacity for adaptation, learning and transformation” (Kim and Lim, 2016). The IPCC report recommends changing current decision-making and behavior in economic, society, technology and policy in terms of sustainable development (Smith et al., 2009).

A systemic economic approach to address this challenge is offered by the Circular Economy. The report of the Ellen MacArthur Foundation (2019) shows that, if applied to the four main production strategies of industrial materials (cement, steel, plastics and aluminum), the Circular Economy could help reduce emissions by 40% by 2050. If applied to the food system, the reduction could amount to 49% for the same year. Overall, these reductions could allow the same sectors to get 45% closer to their net zero-emission targets (MacArthur, 2019).

From a theoretical viewpoint, the concept of Circular Economy can be traced back to the LCT approach, which conceives the project as a process that develops throughout its life cycle, at different scales: materials, components, systems, buildings, urban districts and

territorial areas, infrastructures. Life Cycle Thinking can be defined as “an approach for the evaluation of the impacts of a system – including costs – based on the premise that the consumption of a product / service involves multiple related activities” (UNEP, 2012). This cultural approach pays particular attention to the impacts deriving from the relationships between the different phases contained within the production process which, seen in its broadest sense, takes the name of life cycle. In particular, in the construction sector the activities referred to in the definition are divided into phases: extraction of raw materials, processing of materials, transport to the construction site, distribution and consumption, maintenance, reuse or recycling and disposal. These constitute the life cycle of a building, which is conceived, according to a holistic approach, as a single large complex system.

Life Cycle Thinking also supports the development of a critical framework of possible alternatives and strategies for reducing environmental impact, making eco-design strategies in particular a key tool in decision-making processes. The fundamental importance attributed to the design phase is consistent with the development, which occurred in the United States during the fifties, of approaches based on the integration between sustainability assessment and the life cycle. Within the Life Cycle Thinking, in fact, the Green Economy develops, which contains, in turn, the Circular Economy (Figure 1), as mentioned below.

2.1.2 Green Economy, Circular Economy, Helical Economy

In the context of Life Cycle Thinking, the Green Economy is one of the few areas to have developed even in the years of the economic crisis, thanks to its innovative components able to determine, in the productive realities that assume at least in part the principles, positive effects in terms of employment and reduction of environmental impacts (in terms of corporate social responsibility).

The Green Economy can be defined as “a system of economic activities related to the production, distribution and consumption of goods and services that results in better human well-being in the long run, so as not to expose future generations to significant environmental risks and ecological scarcity” (UNEP, 2011). The key concepts of the Green Economy are the safe and ecological production of goods, materials and energy, minimizing environmental impacts such as pollutant emissions in environmental matrices (air, water and land). It also aims to minimise the use of energy resources from non-renewable sources by encouraging the use of renewable and perennial sources (solar, wind, geothermal, etc.). The strategies implemented by the Green Economy aim to promote the growth of human, natural and social capital, as well as financial, to achieve a better level of well-being. It is therefore possible to affirm

how this meaning of economy can also be conceived as circular, since the efficient use of resources requires the minimization of the production of waste and its transformation into raw materials for new products. In other words, the Circular Economy can be understood as a “subset” of the Green Economy (Figure 1).

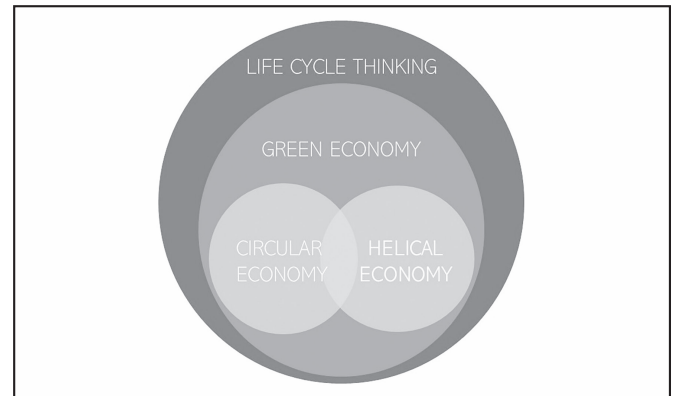


Figure 1 - Relationships between Life Cycle Thinking, Green Economy, Circular Economy and Helical Economy. (Source Elaboration of the authors).

Among the possible definitions of Circular Economy we can point out the following: “A circular economy is an industrial system that is restorative or regenerative by intention and by project. It replaces the concept of “end of life” with restoration, moving towards the use of renewable energy, eliminating the use of toxic chemicals, which compromise reuse, and aims at the elimination of waste through the best design of materials, products, systems and, internally, business models.” (MacArthur, 2012). It assumes, therefore, an economic system designed to regenerate, in which all activities, starting from extraction and production, are organized in such a way that someone’s waste can become resources for someone else (feedback). The fundamental principle is the elimination of the concept of waste: all products are designed in such a way that, at the end of their life cycle, they can be dismantled and reused several times for production purposes, thus creating new added value. This allows significant economic savings on the costs of resource procurement, production and demolition, but above all decouples economic growth from exploitation by natural resources.

Finally, it is worth mentioning the interpretation of Ryan Bradley (Bradley and Jawahir, 2019) who introduces the concept of Helical Economy, as a new extension of the Circular Economy, which allows continuous innovation and economic growth by exploiting an Internet of Things (IoT) infrastructure and reinventing the fundamental elements of production: products, processes and systems. The Helical Economy should use all six basic elements classified as fundamental for economic growth, environmental protection and social benefits: Reduction, Reuse, Recycling, Recovery, Redesign and

Remanufacturing (Jawahir and Bradley, 2016). If the circular economy can be imagined on a two-dimensional level, which is the theoretical maximum value as a function of the use of the elements of the 4Rs of Reduce, Reuse, Recycle and Recover, one can imagine the Helical Economy as in three dimensions where the missing 2Rs - Redesign and Remanufacturing - have a positive impact on innovation and economic growth. The Helical Economy has been shown to add three advances to the Circular Economy: the Helical Economy creates more sustainable value through the use of all 6R elements (Kirchherr, et. to 2017) including the concept of *upcycling* (Sung, 2015) to which it is closely linked. The helical economy also encourages continuous innovation and economic growth and considers the transitory state away from the linear economy.

The helical product is composed of modular components that can be reconfigured according to market demand. After use, the product may be reconfigured into a new product, or the material may be transferred out of the product's life cycle in the form of components via collection of parts and/or materials through recycling. At the level of processes, the greatest innovation takes place with the introduction of a new phase, the "reverse output", which allows to reclassify raw materials and transfer them to other productions. As for the systems, they are controlled through an IoT system of products, processes, and nodes. Each product, and its modules, can be moved from a production phase or node; such transfer shall always and only be determined on the basis of the objective of maintaining the maximum sustainable value. The progress made by the Helical Economy makes it easy to support the economic mobility of the developing world, population growth and the elimination of the concept of obsolescence. Although largely conceptual, the products reinvented by Bradley and Jawahir (2019), the processes and systems thus rethought are able to overhaul the infrastructure of the Linear Economy in place today. Without the replacement of this infrastructure, current linear instruments and infrastructures will continue to create linear products (Fig. 2).

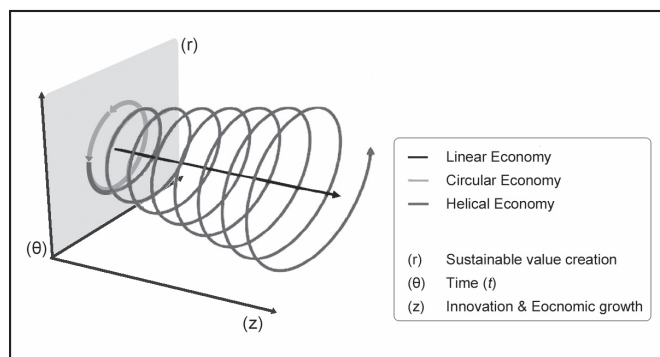


Figure 2 - Relationships between Linear Economy, Circular Economy and Helical Economy. (Source Author's elaboration on Bradley & Jawahir, 2019).

2.1.3 Environmental Economics and Neoclassical Economics

Neoclassical Economics and Environmental Economics are the two dimensions that have most influenced the current system of economic-estimative evaluations. A fundamental difference between these two economic areas is the theoretical argument of the externality given by climate change, given that: "pollution is an externality, that is, an involuntary consequence of market decisions, which affects individuals other than the decision-maker" (Munda, 1997).

The problem of managing negative externalities has been brought back to the center of the debate on how to encourage sustainable development: initially, in fact, it was thought that providing incentives to private actors to internalize all the costs of their actions could be a solution to the problem. The main proponent of this view is Arthur Pigou, who in *The Economics of Welfare* (1932) proposes to the government to impose a tax on emissions equal to the cost of damage related to the efficient level of control (Carbon tax).

A first answer to Pigou's perspective is provided by Ronald Coase (1960). Coase demonstrates how, in a context of bilateral bargaining without transaction costs and without effects on wealth or income, or impacts of third parties, the two negotiating parties can reach socially beneficial agreements and the overall amount of pollution remains independent of the allocation of property rights. In fact, however, it is unlikely that at least some of the specified conditions will not occur in relation to most environmental problems. Therefore, private negotiations can never fully internalize environmental externalities.

Environmental economics can therefore be considered as a particular specialization of neoclassical economics that considers and analyzes two fundamental issues: (i) the problem of environmental externalities; and (ii) the proper management of natural resources and, in particular, the optimal intergenerational allocation of non-renewable resources.

The classical view of economists tends to believe in the value of "neutrality" and "objectivity" of decisions. Rational decision is related to the existence of optimal solutions based on calculations in monetary terms or other one-dimensional terms. It should be noted, however, that the assignment of a precise monetary value to an environmental externality implies the solution of very complex problems, relating for example to the uncertainty related to the environmental impact, to the definition of the correct time horizon and the correct discount rate. On the other hand, neoclassical economists present a rather optimistic view of technological progress and economic growth. In general, they recognize that even though production technologies can potentially increase production in relation to the increase in inputs, overall production will still be limited by the limited supply of primary resources. However, they affirm that

these limits can be overcome by the technological progress, since “exhaustible resources are not a real fundamental problem as long as the reproducible capital produced by man is sufficiently ‘substitutable’ for natural resources (Munda, 1997).

This concept has been criticized from different viewpoints, and a new current has developed that defines the “concept of weak sustainability” (Pearce and Atkinson, 1993). According to this view, “an economy can be considered sustainable if it saves more than the combined depreciation of natural and man-made capital” (Pearce and Atkinson, 1993). We can then pass on fewer environmental resources to future generations as long as we compensate for this loss by increasing the (physical) human capital produced. In particular, in conditions of weak sustainability, sustainability is equivalent to leaving to future generations a total stock of capital no less than that enjoyed by the current generation. Classical and neoclassical perspectives and approaches based on one-dimensional evaluation analyses have therefore evolved over time to include multidimensional analyses and increasingly the ecological and social dimensions of the economy (Stiglitz et al., 2009). Environmental Economics and the concept of sustainability are therefore the result of the mitigation of optimism and neoclassical confidence for technological progress and development through the integration of the needs and uncertainties suggested by ecology and sociology in the analyses, to increasingly concern the relationship of anthropogenic systems with ecological and environmental ones (Fig. 3).

The Circular Economy therefore lays its foundations on theories close to those of the environmental economy, not questioning the foundations of growth on which the current economic system is based, but aiming to make it more efficient, attributing a lot of confidence to

technological innovation and the efficiency of production processes. It therefore remains in a perspective of saving natural resources and solving polluting factors, results of production growth aimed at increasing consumption and therefore GDP. In this perspective, it can be argued that the Circular Economy objectives of current policies relate to a weak concept of sustainability (Giorgi, Lavagna and Campioli, 2017).

The economic model assumed today is defined as “linear” and is based on the process of extraction of raw materials, their transformation and use and, at the end of their life, their disposal in landfills without the possibility of recovering material (“take-make-use-dispose”). These actions are accompanied by incoming energy and material flows and flows such as polluting gases, wastewater, and outgoing processing waste: the sum of these two components is called *throughput*.

Precisely the difficulties in reconciling this linearity with the condition of limited resources and exponential population growth gave impetus to the development of Life Cycle Thinking, traceable in some theoretical texts of the seventies, including the writings of Barry Commoner (1972). The dynamics of the linear economy are questioned at the political level especially in 1987 when the WCED (World Commission on Environment and Development) with the Brundtland report (World Commission on Environment and Development, 1987) formulates the well-known definition, from which derives an objective of well-being of society (including economic) combined with the protection of the environment (Giorgi, Lavagna and Campioli, 2017).

The UNEP (2011) (United Nations Environment Programme) identifies the use of resources as one of the most important links between economic activities and the environment; in particular, it adopts the concepts of *resource decoupling*, first dealt with by the OECD in 2001, and *impact decoupling*, which highlight how the increase in GDP and the well-being of humanity must be decoupled from the consumption of primary resources and environmental impacts. The OECD also stresses the need to achieve a new economic model that can meet economic growth and the well-being of individuals, but at the same time safeguards the environment (Giorgi, Lavagna and Campioli, 2017).

The transition to the Circular Economy requires some systematic changes and a strong innovative impulse in the technological, social, economic, political and not least organizational fields. However, even in a highly circular economy, elements of linearity remain, such as the initial demand for virgin resources and the need to dispose of residual waste at the end of life. In fact, every industrial process is currently characterized by incoming resources (input) and outgoing resources (output). In some cases, the withdrawn resources are returned to the system, while others are discarded without any recovery of material or value, thus becoming waste.

In this regard, it must be remembered that the industrial

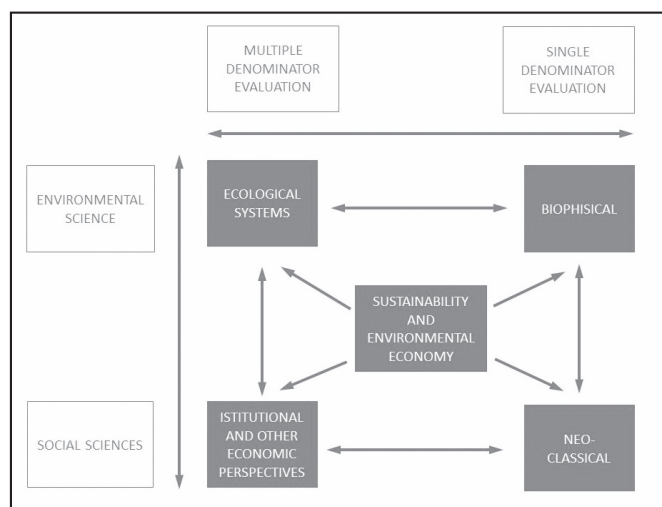


Figure 3 - A simplified conceptual model of ecological-environmental perspectives and approaches in relation to the concept of sustainability and environmental economics (Elaborations of the authors).

process within the Circular Economy is based on two fundamental aspects: (i) the energy used must come from renewable natural sources in order to reduce dependence on fossil resources, thus increasing the resilience of the economic system; (ii) some of the waste produced may return to being a resource after a series of standard processes which generate, however, additional costs that may hinder the competitive capabilities of an enterprise on the market. Therefore, the use of secondary raw materials must be supported, including through the implementation of dedicated public policies. This also applies to the sectors of building production and, with them, architecture and urban planning.

2.2 Circular Economy and Sustainable Architecture

In the field of architecture and urban planning, the principles mentioned above refer to the concept of "sustainable architecture". Assuming that "The principles of the circular economy can produce significant impacts on production and consumption processes, not only in terms of raw materials and energy use in the construction sector, but also in terms of consumer and producer behavior" (Pons-Valladares and Nikolic, 2020), it can be observed that in recent years the attention to sustainability also in construction and renovation has become one of the main drivers of development of the sector and of attention from buyers.

The concept of Circular Economy applied to construction, being attributable to the theoretical approach of Life Cycle Thinking, considers sustainable design as a process that develops throughout the life cycle of the building, at different scales, as mentioned above: materials, components, systems, buildings, urban districts and territorial areas, infrastructures.

The origins of sustainable architecture and its design are to be found in the sixties and seventies, a period during which the first theories for the environment were born. Starting from the latter, in recent years different approaches to design careful to the natural ecosystem have been gemmed, including the Design for Environment and the Architecture Sustainable Design Approach.

Design for Environment consists of a system of design strategies designed to control a product, process, or service, paying attention to the consequent impacts that can be produced on the environment and human health. Design for Environment brings together different ways of approaching the problem, such as Design for Manufacturing, Design for Packaging, Design for Assembly, Design for Disassembly or Deconstruction, Design for Reuse, Design for Recycle, etc., having all the same purposes: to minimize waste production, harmful emissions and environmental impacts, while reducing the use of non-renewable natural raw materials. The attention of Design for Environment is focused on the entire life

cycle of the product, in order to improve its environmental performance at every stage.

Architecture Sustainable Design consists of an approach that focuses on quality and sustainability, understood as common objectives of the different specialist skills that take part in the design process and, at the same time, the ultimate goal of integrated design (Thiebat, 2019). The approach also underlines the importance of the economic component for sustainable design. The roots of the approach lie in the principles of Project Management and in the principles of sustainability conceived in a holistic sense – economic, environmental, social, energy –, as summarized as in Figure 4.

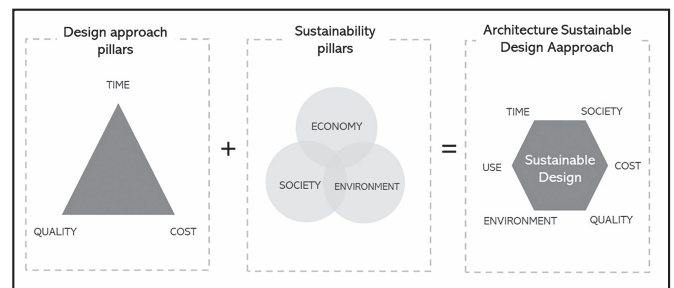


Figura 4 - Architecture Sustainable Design Approach: qualità e sostenibilità. Fonte: Elaborazione degli Autori da Thiébat, F. (2019). Life Cycle and Sustainability. In Life Cycle Design. Springer, Cham.

The principles of Architecture Sustainable Design and Circular Economy represent, as noted below, two theoretical guidelines particularly significant for recent disciplinary experiences (and also for developments in perspective).

3. EXPERIENCES

Real Estate Evaluation is today an autonomous discipline, which draws its origins from the Economics to which it is connected starting from the concepts of production, transaction and value. In recent decades it denounces a very strong discontinuity within it: the evolution of the problems and the transformations that the discipline has faced over the years can be read in correspondence with two phases.

In a first phase, which starts towards the end of the 80s, the Real Estate Evaluation goes beyond its traditional vocation to the appraisal of private assets to open up to the valuation of public goods, architectural-historical resources and environmental assets, to the evaluation of the feasibility of plans and projects. For some decades the main emerging issues concern, on the private side, real estate appraisal, economic-financial valuations, the analysis of real estate investments; on the public side, the valuation of the value of the public good, the evaluation of the social use of resources, the identification of

accounting measures of social costs and benefits of intervention projects, the transition from monetary economic-financial evaluations to multi-criteria techniques of decision support.

In this first phase, the most significant steps take place in conjunction with some contributions such as those of Grittani and Roscelli (Grillenzoni and Grittani, 1994; Roscelli, 1990), which introduce the economic evaluation of both private and public projects and qualitative assessments of a multicriteria order alongside the classical Real Estate Appraisal. The changes are also linked to the most relevant theoretical contributions made in the international literature. On the side of public evaluations, the Real Estate Valuation opens to the Cost and Benefit Analysis (Eckstein, 1957, Marglin, 1963; Mishan, 1974; Pearce, 1971; Pearce and Nash, 1981), for the economic-financial evaluation of intervention projects on architectural and environmental resources. In accordance with the theories of the Welfare Economics and Environmental Economics, the costs and benefits produced by public intervention projects or for the social use of resources are expressed in terms of social costs and benefits, the methods of measurement of which are widely treated in the literature (Pigou, 1932; Coase, 1960, Pearce and Nash, 1981) and internalized in the Real Estate Valuation. Attention is also paid to the variants developed by Lichfield within the experiences of structural planning in Great Britain in the mid-seventies (Lichfield, 1975; 1996; 2005), in particular the Community Impact Analysis, taken up in the nineties by the Italian school with interesting applications also to the urban scale (Lichfield, 1989).

The Cost and Benefit Analysis, the method par excellence of the Pigou's Economics of Welfare, represents a very strong breaking element but, at the same time, the limits given by its quantitative nature urge the research developed in the field of Multicriteria Analysis to help decision. Borrowing from Operations Research and specifically from Decision Theory, from the end of the Eighties to today and not without different interpretations, multiple approaches are tested to support the solution / structuring of decision-making problems in complex contexts.

Even the discussion on the value of the public asset sees the contribution of the estimative scientific community: Fusco Girard (Fusco Girard, 1987) takes up the concept of Social Value starting from the formulations of Carlo Forte (Forte, 1968), redefining it in terms of Complex or Compound Social Value, capturing the openings traced in the literature (Pearce and Nash, 1981). Centrality is placed on the transition from the intragenerational perspective to the intergenerational perspective, respectively capable of reflecting individual and social points of view. From the operational viewpoint, the discussion focuses on the identification of the most correct discount rate, that is, capable of moving from a concept of intragenerational equity (through market rates), to a concept of

intergenerational equity (through social essays of time preference).

In this – it should be noted – the debate on the use of non-reproducible resources at the base of sustainable development and the Circular Economy is anticipated to some extent.

In addition, ample space is dedicated to the treatment of externalities, positive or negative (Bazzani et al., 1993), in their implications with the evaluation of public (or private) projects with significant external effects in terms of vantages / disadvantages), as well as the qualitative aspects of value or “intangible” or “pure externalities” not attributable to the market sphere (non-monetizable) (Coscia and Curto, 2017). Subsequently, the fundamental theoretical contributions that lead to the formulation of the concept of Total Economic Value (Weisbrod, 1964; Krutilla, 1967; Boyle and Bishop, 1985), in the context of high-quality assets (Sirchia, 2000). Furthermore, the tools for measuring willingness-to-pay in the context of hypothetical or simulated markets and utility curves drawn on the basis of preferences expressed, in the broader framework of the issues of analysis of the functioning of the market and its organization, starting from the fundamentals of microeconomics, are explored. The analysis of consumer behavior and his system of preferences mutual operational approaches of marketing (such as Conjoint Analysis, Choice Models, Contingent Valuation to name a few), placed the object from the lifestyle of consumers to the segmentation of markets.

In those years, the debate around evaluation shows a strong influence on the part of Environmental Economics and the principles of sustainable development, increasing the gap between market value and social value (Sirchia, 1991).

With respect to market analysis, always in the first phase, a debate develops in Italy on the evaluative theory, objective positions and shared critical lines. The objectives converge on the need to define a systematized set of rules and tools, with requirements of transparency, procedural uniformity, general validity, to strengthen the confidence of the results of the estimates by reducing the components of error. In addition, to recognize shared sets of variables significant for the formation of price systems. Furthermore, it is studied to identify and measure synthetic variables for the implementation of models, starting from data of controlled quality.

There is no shortage of critical and problematic elements, essentially due to the general condition of opacity of the market and the general scarcity of forecasting studies of market trends, both at the micro-territorial level and at the macroeconomic level, with repercussions on the identification of trends and on the forecast of values and demands, also at project and plan level.

Focusing on the analysis of market dynamics in terms of sales, the focus is on the treatment of quality variables and the need for greater methodological rigor in the sampling and data collection phases. Thus, the procedures for the

formulation of judgments for estimating the market value evolve. Two are the most significant steps: on the one hand, the introduction of the Market Approach of Anglo-Saxon origin, developed in Italy (Simonotti, 1985); on the other hand, the overcoming of the deterministic approach in favor of the probabilistic one, thanks to the multiparametric procedures of a statistical type (Simonotti, 1997; Morano, 2002), to be applied especially in mass appraisal. Therefore, the generalized use of the Hedonic approach – operationally supported by the Multiple Regression Analysis – and the experimentation of even more advanced mathematical-statistical procedures, especially at the research level, for example, on multi-equational systems such as Structural Equation Models (Manganelli, 2001) enters the Real Estate Evaluation.

On this basis, the most recent transformations, still in progress (second phase), are developed in the Real Estate Evaluation.

One of the most current and profound disciplinary changes in the second phase takes place in conjunction with the processes of transformation of technologies. Technological innovation has increased the complexity of production processes also in the construction field, opening a problem of mismatch between production and renewal of not simple resolution, also considering the costs of adaptation for construction companies. Technology transfer and innovation are, however, an opportunity to reduce costs and to optimize performance (not only energy), both in the case of new buildings and in the case of existing heritage, thus emphasizing the concept of sustainability and its links with the Economy.

A second aspect of rupture concerns the concept of sustainability and the circular economic model, to be grasped together with the relations between the environmental and economic spheres. The Circular Economy, as mentioned in section 2, brings within it the principles underlying the systemic approach to construction and the related tools to support design and construction processes. Furthermore, it assumes the connection with Life Cycle Thinking, a theoretical topic at the base of some of the most recent operational contributions to the evaluation of projects: Life Cycle Thinking in fact connects the objectives of economic sustainability with those of environmental sustainability from the earliest stages of the design process, through tools and methodologies suitable for identifying optimal construction solutions both from an economic viewpoint, and in terms of “global performance”. The Life Cycle Thinking tools in the evaluation field address the question of how to reconcile economic and environmental objectives that are often very different, supported by analyses whose results, most of the time, are differentiated, with consequent problems in terms of decision-making. Furthermore, it responds to the requests of the international regulatory framework in the

field of energy policies and environmental sustainability, which are overturned on the design activity and on the professions involved.

A third aspect concerns the fact that research is moving towards integration between the disciplines of Architecture and Engineering, accompanied by positive synergies that are also reflected in professions and training. This can be clearly read from the scientific production of recent years, increasingly intertwined with the research topics and the publications where the results are shared.

A fourth aspect concerns the role of the economic-financial feasibility of interventions in the context of the real estate market and building production, which is moving towards the analysis of the processes of monetization of real estate performance: orienting the market towards properties with high technological content and low environmental impact can act on the quality-architecture relationship, on the evolution of the construction industry, on the definition of new design strategies in the construction sector, on the development of new demand behaviors.

In all this, Statistics confirms its fundamental contribution to economic appraisal and evaluations, especially if we consider the increasing availability of big data and open data.

For these elements the discipline assumes a central role, given that it will operate in the presence of innovation costs, adaptation of design and construction processes very high on the one hand, scarce resources and increasingly high-quality requirements on the other. This is demonstrated by the most recent developments both on the side of the economic evaluation of the projects and on the side of the market analysis, discussed below.

3.1 Economic evaluation of projects

When the economic evaluation of the projects becomes part of the Real Estate Evaluation, the transition from the formulation of the value judgment, estimative or economic, to the formulation of the judgments of economic convenience takes place.

Operationally, borrowing from the Business Economy, the verification of the feasibility of private projects assumes the Anglo-Saxon model of capital budgeting, solved through the Discounted Cash-flow Analysis - DCFA approach (Baldwin and Clark, 1992; Jaffe and Sirmans, 1995). The DCFA in fact brings within the discipline the analysis of investments – according to the US approach in turn based on the analysis of capitalization processes – adapting it to the sector of real estate interventions with forecasting purposes (Prizzon, 1995). It focuses on the design and implementation phases according to a linear economic approach.

The transition from the Linear Economy “towards” the Circular Economy takes place subsequently also with the

inclusion, in the discipline, of approaches to the life cycle: the change has affected, by expanding it, the theme of verifying the sustainability of projects towards its functional, technological, energy, social and environmental implications, in terms of life cycle and in relation to the components of environmental sustainability in the life cycle (Fregonara, 2017). At the center is the support to the processes of choice between alternative technological scenarios with a view to optimal cost, through the Life Cycle Costing – LCC or Life Cycle Cost Analysis - LCCA approach (ISO 15686-5:2017), introduced in Italy as a decision criterion (Legislative Decree 50/2016 implementing Directives 2014/23/EU, 2014/24/EU, 2014/25/EU), also integrated with the Life Cycle Assessment - LCA approach (ISO 14040:2006).

Moving from the linear conception to the circular conception of the design process, we move from DCFA to LCCA (Flanagan and Norman, 1983; Langdon, 2007; Koning et al. 2010; DOE, 2014), as schematized in Figure 5.

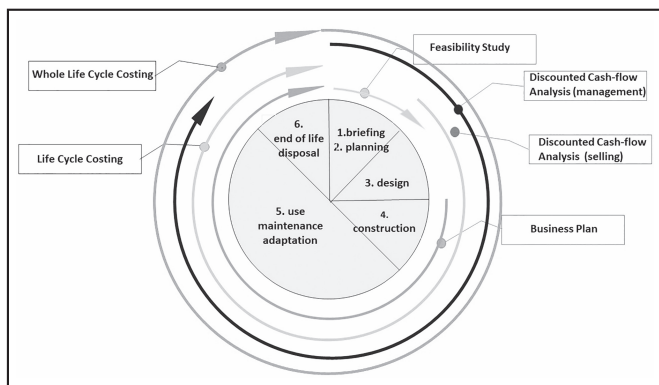


Figure 5 - From the Discounted Cash-flow Analysis to the Life Cycle Cost Analysis (Source: elaboration of the Authors by E. Fregonara, 2015, *Valutazione, sostenibilità, progetto. Life Cycle Thinking e indirizzi internazionali*, Franco Angeli, Milan, p. 20).

The strongest element of change is the inclusion, in the evaluation in a circular perspective, of the stages that precede and follow the design and construction phases of the work. Central is also the evolution from the concept of construction cost, as conceived by the traditional Real Estate Valuation, to the concept of Global Cost (EN 15459-1: 2017) defined by the international legislation on energy policies (Directive 2018/844 / EU - EPBD recast). The Global Cost was also supplemented by the environmental components monetized through the calculation of Embodied Energy and Embodied Carbon, by the costs of dismantling/disposal and by the calculation of the residual value, thus experimenting with joint LCCA and LCA approaches (Fregonara et al., 2016).

The cost value, rethought, is declined in relation to the phases of the real estate development processes and with respect to the life cycle of the project. Central is the use of mixed (or semi-parametric) procedures for the

calculation of the cost, obtained by combining analytical and synthetic elaborations. These provide for the breakdown of the building into its construction elements and the identification of the related costs (to be differentiated in relation to the specific design characteristics, the phase of the building process, the reference subjects). We then arrive at the definition of a “structure” of costs of an incremental nature, which allows to define the correct entity with respect to times and stakeholders, from the technical cost of construction incurred by the construction company to the global cost incurred by the manager / end user.

As a consequence, the conditions for risk and uncertainty analysis also change. Introduced in the first research in Italy in the mid 80s, mainly with deterministic/probabilistic approaches for the treatment of specific market risk (Curto and Fregonara, 1999), new centrality is now given to the cost risk component both in the analysis of investments and in global cost forecasts. Cost risk analysis, resolved through deterministic or probabilistic approaches associated with LCCA, is central to the current and prospective economic framework, characterized by increasing uncertainty reflected in the dynamics of buying and selling, market prices, construction activity and production costs.

A further change is marked by the introduction of Project Management theories and tools to monitor and control real estate development processes – in their life cycle –. In particular, Project Construction Management, which involves the preliminary (pre-construction site) and executive (construction site) phase, Asset Management, Property Management and Facility Management, directed to the management of real estate activities from a patrimonial / technical-operational viewpoint, with reference to individual buildings and / or real estate assets. Within the first grouping – Project Construction Management – particular interest is aimed at planning and controlling costs in relation to time and, specifically, at the Earned Value Method which also finds important applications in the field of complex and infrastructural projects. An element of disciplinary progress is also represented by the combination of economic planning and cost monitoring/control approaches, through the association of Cost Control, Discounted Cash-flow Analysis/Life Cycle Cost Analysis and Cost-risk Analysis techniques.

It is assumed in the premise that the management cost is more relevant than the construction cost, confirming the importance of including in the evaluation all the phases of life of the building works, in view of “from cradle to grave” or, to fully assume the principles of the Circular Economy, in perspective “from cradle to cradle” (Braungart and McDonough, 2009).

3.2 Market analysis

To assess the sustainability of the project it is necessary to understand the impact of sustainable construction on

[building production and the market, in terms of demand, supply and values. The knowledge of the structure and dynamics of the reference real estate markets are a fundamental support to sustainable economic design.

This is, however, a milestone achieved recently: Warren-Myers (2015) in 2015 stated that the lack of empirical evidence, appropriate knowledge, applied and impartial research and assessment tools for sustainability, made the role of evaluators in providing an informed opinion of market value for both existing and sustainable assets more complex (Warren-Myers, 2015).

In recent research the situation is changing by providing data to confirm the existence of a relationship between sustainability and market value and the monetization by buyers of green qualities in residential buildings. However, considering that the environmental qualities of buildings are not yet fully appreciated by demand and buyers, evaluators still have the fundamental task of providing a financial justification to motivate the investment of resources in the sustainability of commercial real estate, rather than in traditional architecture (Levy and Schuck, 2005).

Extensive research has been conducted on the relationship between sustainability and market value; among the most widespread and applied approaches, hedonic models have had a strong impulse, solved by Multiple Regression analysis (Simonotti, 1997; Morano, 2002). These support and develop the elementary indicators of descriptive statistics, mainly for the study of price determinants with particular regard to the intrinsic technological, physical-technical characteristics and the Energy Class of the buildings conceived in their life cycle. Studies on the effects of the Energy Performance Certificate on listing prices have been developed in the past years through the application of standard multiple regression models, solved by the Ordinary Least Squares (OLS) algorithm or hedonic approaches (Fregonara et al. 2014; Fregonara et al., 2017).

A parallel path, started in the eighties, is related to the analysis of the real estate market through the use of spatial regression models (global) to be able to manage the spatial component of the real estate market and its influence on the process of price formation.

Spatial statistics are well suited for market analysis and for the study of the process of redefinition of territorial hierarchies currently taking place in cities, according to a microeconomic perspective (Barreca et al., 2018, 2020a). The study of spatial relationships can help to understand if and to what extent environmentally friendly constructions can influence the current redefinition of spatial hierarchies, with an effect of training and knowledge on the dynamics of markets at the territorial/urban level.

Dealing with territorial variables – all the more so in a circular perspective – the node of the influence of the spatial (defined spatial dependence and heterogeneity) and temporal (temporal autocorrelation) components of

the real estate market data, they cannot in fact be neglected both in the modeling and in the predictive use of the models. There are two ways to perform spatial statistical modeling (Dubin, 1998). The first approach is based on the hypothesis of a spatial process defined as a matrix that represents the weight of space in the definition of a given phenomenon. The second approach is based on a hypothesis related to the functional form of the covariance matrix (from which the so-called geostate models derive) (Wilhelmsson, 2002). The first approach, in particular, has been widely and classically used in the literature on real estate analysis (Pace et al., 1998).

Geospatial statistics seeks to analyze the spatial structures of data at two different scales: large-scale and small-scale, using the concepts of stationarity and isotropy. The main objectives of spatial statistics consist in being able to make: (i) inference on the spatial structure (both the verification of the existence of a spatial structure and its estimation); (ii) inference on the non-spatial structure (estimation of the effects of a behavior, effects of covariance, estimation of the number of points, etc.); (iii) prediction of unread and latent variables (Kriging and Surface Analysis). The problem of spatial and temporal dependence has generally been treated over the years through the application of geostatistical approaches. These are solved by approaches related to two main groups: spatial statistics of global type and those of local type. Among the techniques of global type, based on the calculation of spatial autocorrelation, a proximity matrix and the lag value of the same variable, we find the Moran and Geary indices. Among the various types of global spatial regressions are the Spatial Lag Model (SLM) and the Spatial Error Model (SEM) (Barreca et al., 2020b, 2021). SLM manages the autocorrelation of regression residues by adding a Lagged variable among the explanatory variables, while SEM manages spatial autocorrelation by adding a variable expression of a spatial weight matrix. Both methods are based on geospatial data (areal or point) and are based on the Maximum Likelihood Estimation (MLE) algorithm and verified by Lagrange Multiplier tests.

Starting from global models, among the approaches defined as “local” that are currently most widely used and that present greater possibilities for development, geographically weighted regression (GWR) must be mentioned. The GWR in real estate market analysis allows to model the spatial variation of house prices, measuring different coefficients for each variable for each observation in space. This allows us to understand to what extent the location and all the observed variables affect in various ways the formation of the price with different coefficients according to the urban area in which the observation is located. These models also make it possible to estimate (infer) the value of real estate even at unobserved geographical points, managing spatial components and spatial dependence better than global regression models.

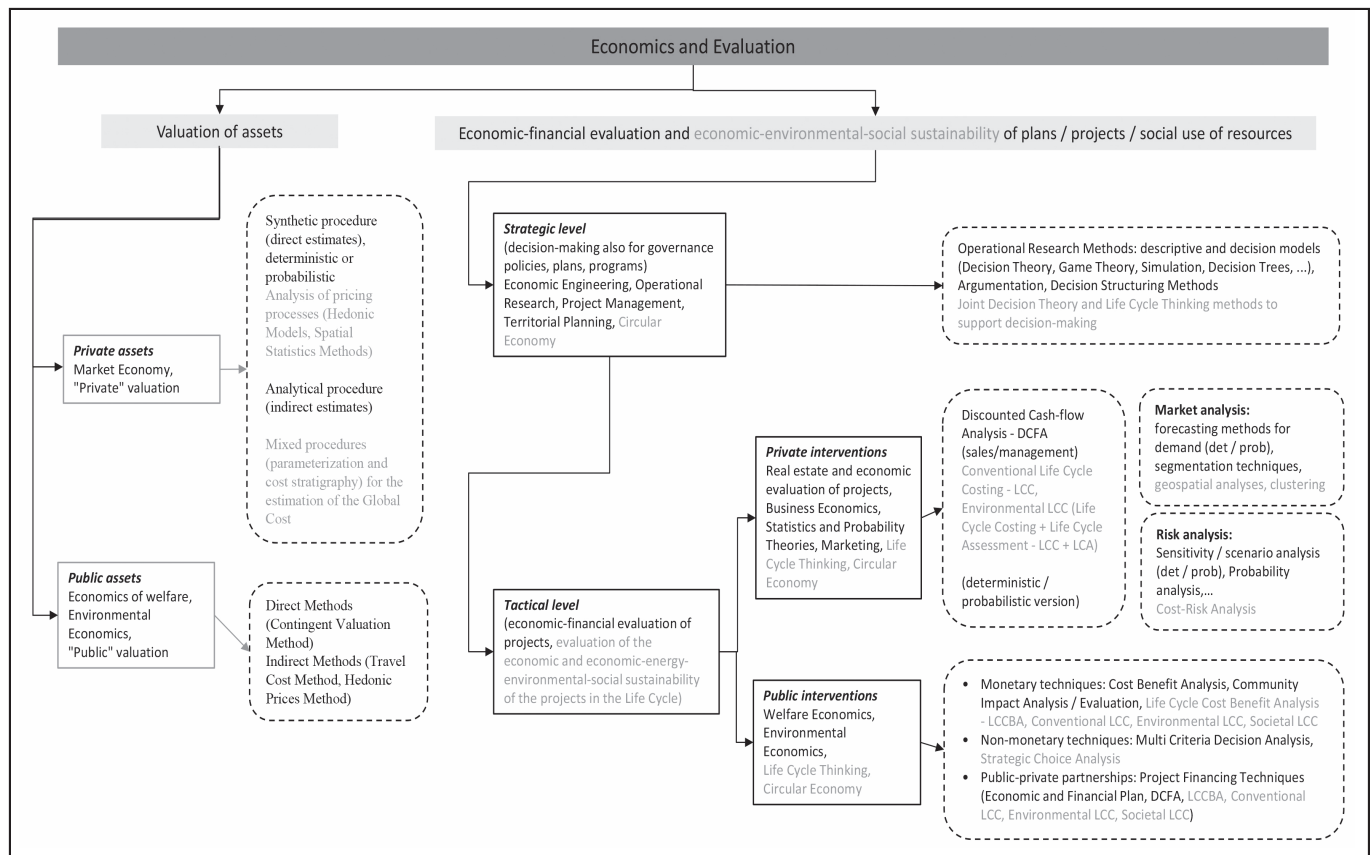


Figure 6 - Synoptic framework of the tools and approaches to evaluation, with evidence to the most recent grafts in view of sustainability assessment.

3.3 Synoptic framework of operative approaches

The taxonomy of the operative approaches and their disciplinary matrices allows, in the light of the changes outlined above, to draw a framework of synthesis (Figure 6). The scheme represents a synopsis of the operational tools (and the related theories of origin) highlighting the most recent inserts, with a view to assessing sustainability.

4. CONCLUSIONS

Starting from the changes due to the evolution of reality and to the new and increasingly urgent environmental issues also in the field of architecture, the paper has discussed the tools of Economic Evaluation of projects that can support sustainable architecture. The work, therefore, aimed to present an overall picture on the evolution of the relationship between economics and sustainability and an overview of the tools that the discipline has implemented with respect to the problems related to Sustainable Architectural Design.

The article developed in two parts. The first was dedicated to recalling the developments in the estimative discipline, emphasizing the most recent and consolidated ones, to

whose theoretical matrices have been constantly related. The second presented the experiences gained, the theories and consolidated analysis tools for the analysis of the different components of sustainability and its relationships with risk and uncertainty management, with the real estate market and technological innovation of (architectural) production processes.

The reflections presented were intended to provide a contribution to the development of the literature in the sector and, in particular, to the debate still open today on the evolution of the discipline. Looking ahead, it was possible to identify ideas that the scientific community will be called upon to address, in synergy with the trajectories of research and for training purposes. In particular, on the role of economic evaluations in Sustainable Design and in the transition process towards the Circular Economy.

From the paper emerges a particularly important point – the subject of a study on progress – namely the role of life cycle assessment tools to support the definition of policies aimed not only at the reuse of resources, but also and above all at containing their use in production phases. In this sense, the joint use of tools capable of measuring the amount of energy needed in the production phases

and the relative economic weights, can guide the decision-making processes between design options by encouraging (also through fiscal tools) the use of technologies capable of using fewer resources (raw materials and secondary raw materials) and support

conversion strategies, albeit in contexts of weak sustainability. This is accompanied by the need to deepen the impact of sustainability on the housing and building production markets, even at the single attribute level, and through the use of appropriate techniques.

* **Elena Fregonara**, Politecnico di Torino, Department of Architecture and Design
e-mail: elena.fregonara@polito.it

** **Alice Barreca**, Politecnico di Torino, Department of Architecture and Design
e-mail: alice.barreca@polito.it

Authors' contribution

The Authors contributed to the work in equal parts.

Bibliography

APPRAISAL INSTITUTE, *The Appraisal of real Estate*, Chicago, 2001.

BALDWIN C., CLARK K., *Capabilities and Capital Investment: New Perspectives on Capital Budgeting*, Journal of Applied Corporate Finance, Summer, 1992, pp. 67–87.

BARRECA A., CURTO R. & ROLANDO D., *Housing vulnerability and property prices: Spatial analyses in the Turin real estate market*, Sustainability, 2018, 10(9), p. 3068.

BARRECA A., CURTO R. & ROLANDO D., *Urban vibrancy: An emerging factor that spatially influences the real estate market*, Sustainability, 2020, 12(1), p. 346.

BARRECA A., CURTO R. & ROLANDO D., *Is the Real Estate Market of New Housing Stock Influenced by Urban Vibrancy?*, Complexity, 2020.

BARRECA A., FREGONARA E. & ROLANDO D., *EPC Labels and Building Features: Spatial Implications over Housing Prices*, Sustainability, 2021, 13(5), p. 2838.

BAZZANI G., GRILLENZONI M., MALAGOLI C., RAGAZZONI A., *Valutazione delle risorse ambientali*, Edagricole, Milano, 1993.

BOYLE K.J. & BISHOP R.C., *The Total Value of Wildlife Resources: Conceptual and Empirical Issues*, in Economists Workshop on Recreational Demand Modeling. Association of Environmental Resources, Boulder, 1985, Col. 17-18.

BRADLEY R. & JAWAHIR I.S., *Designing and Redesigning Products, Processes, and Systems for a Helical Economy*, Procedia Manufacturing, 2019, 33, pp. 168–175.

BRUNDTLAND G.H., *Our common future - Call for action*, Environmental Conservation, 1987, 14(4), pp. 291–294.

BRAUNGART M. & McDONOUGH W., *Cradle to cradle*, Random House, 2009.

COASE R., *The Problem of Social Cost*, Journal of Law and Economics, 1960, 3 (1), 1–44.

COMMONER B., *The environmental cost of economic growth*, Population, resources and the environment, 1972, 3, pp. 343–63.

COSCIA C. & CURTO R., *Valorising in the absence of public resources and weak markets: The case of "Ivrea, the 20th century industrial city"*, Appraisal: From Theory to Practice, 2017, 79–99.

CURTO R.A., FREGONARA E., *Decision Tools for Investments in the Real Estate Sector with Risk and Uncertainty Elements*, Jahrbuch fuer Regionalwissenschaft, 1999, 19(1), pp. 55–85.

DEPARTMENT OF ENERGY (DOE), *Life Cycle Cost Handbook Guidance for Life Cycle Cost Estimate and Life Cycle Cost Analysis*, Washington, D.C., USA, 2014.

DIRECTIVE 2018/844/EU of the European Parliament and of the Council of 30 May 2018 amending Directive 2010/31/EU on the energy performance of buildings and Directive 2012/27/EU on energy efficiency

KIM D. & LIM U., *Urban resilience in climate change adaptation: A conceptual framework*, Sustainability, 2016, 8(4), p. 405.

DUBIN R.A., *Spatial autocorrelation: a primer*, Journal of housing economics, 1998, 7(4), pp. 304–327.

ECKSTEIN O., *Investment Criteria for Economic Development and the Theory of Inter-temporal Welfare Economics*, Quarterly Journal of Economics, 1957, 711, pp. 56–85.

ELLEN MACARTHUR FOUNDATION, *Towards the Economia Circolare. Economic and Business Rationale for an Accelerated transition*, Cowes, UK, Ellen MacArthur Foundation, 2012. Available online: <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/publications>.

- ELLEN MACARTHUR FOUNDATION, *Growth within: A Economia Circolare Vision for a Competitive Europe*, Cowes, UK, Ellen MacArthur Foundation, 2015. Available online: <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/publications>).
- EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION - CEN, Standard EN ISO 15459-1:2017. *Energy Performance of Buildings-Economic Evaluation Procedure for Energy Systems in Buildings*, Brussels, Belgium, European Committee for Standardization, 2017.
- EUROPEAN UNION, EUROPEAN COMMISSION, *Communication from the Commission to the European Parliament, the council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions, Towards a Circular Economy: A Zero Waste Programme for Europe*. Brussels, Belgium, 2 July 2014, COM 398 Final. Available online: <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=celex%3A52014DC0398>).
- EUROPEAN UNION, EUROPEAN COMMISSION, *Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions, Closing the Loop - An EU Action Plan for the Circular Economy*. Brussels, Belgium, 2 December 2015, COM 614 Final, 2015. (Available online: <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:52015DC0614>).
- EUROPEAN COMMISSION, *A Renovation Wave for Europe - greening our buildings, creating jobs, improving lives. Communication from the European Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions*, Brussels, 14th October 2020. Retrieved from: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?qid=1603122220757&uri=CELEX:52020DC0662>. Last accessed 5th March 2021.
- FLANAGAN R. & NORMAN G., *Life Cycle Costing for Construction*, London, UK, Royal Institution of Chartered Surveyors, 1983.
- FORTE C., *Elementi di estimo urbano*, Milano, EtasLibri, 1968.
- FREGONARA E., ROLANDO D. & SEMERARO P., *Energy performance certificates in the Turin real estate market*, Journal of European Real Estate Research, 2017, 10, pp. 149–169.
- FREGONARA E., ROLANDO D., SEMERARO P. & VELLA M., *The impact of Energy Performance Certificate level on house listing prices*, First evidence from Italian real estate. Aestimum, 2014, 64, p. 143.
- FREGONARA E., *Methodologies for Supporting Sustainability in Energy and Buildings. The Contribution of Project Economic Evaluation*, Energy Procedia, 2017, 111, pp. 2–11.
- FREGONARA E., GIORDANO R., ROLANDO D., TULLIANI J.M., *Integrating Environmental and Economic Sustainability*, in New Building Construction and Retrofit, Journal of Urban Technology, 2016, 23(4), pp. 3–28.
- FUSCO G.L., *Risorse architettoniche e culturali: valutazioni e Strategie di conservazione*, Milano, 1987.
- GIORGI S., LAVAGNA M., CAMPIOLI A., *Economia circolare, gestione dei rifiuti e life cycle thinking: fondamenti, interpretazioni e analisi dello stato dell'arte*, Ingegneria dell'Ambiente, 2017, 4, 3, pp. 263–276.
- GRILLENZONI GRITTANI G., *Estimo. Teoria, procedure di valutazione e casi applicativi*, Bologna, Calderini, 1994.
- SMITH J.B., SCHNEIDER S.H., OPPENHEIMER M., YOHE G.W., HARE W., MASTRANDREA M. D. ... & VAN YPERSELE J.P., *Assessing dangerous climate change through an update of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) "reasons for concern"*, Proceedings of the national Academy of Sciences, 2009, 106(11), pp. 4133–4137.
- JAWAHIR I.S. & BRADLEY R., *Technological elements of circular economy and the principles of 6R-based closed-loop material flow in sustainable manufacturing*, Procedia Cirp, 2016, 40, pp. 103–108.
- JAFFE A.J., SIRMANS C.F., *Fundamentals of Real Estate Investment*, Englewood Cliffs, Prentice Hall, 1995.
- KARLESSI T., KAMPETIS N., KOLOKOTSA D., SANTAMOURIS M., STANDARDI L., ISIDORI D. & CRISTALLI C., *The concept of smart and NZEB buildings and the integrated design approach*, Procedia engineering, 2017, 180, pp. 1316–1325.
- KIRCHHERR J., REIKE D., HEKKERT M., *Conceptualizing the circular economy: An analysis of 114 definitions*, Resour. Conserv. Recycl., 2017, 127, pp. 221–232.
- KÖNIG H., KOHLER N., KREISSIG J. & LÜTZKENDORF T., *A Life Cycle Approach to Buildings. Principles, Calculations, Design Tools*, Regensburg, Germany Detail Green Books, 2010.
- KRUTILLA J.V., *Conservation Reconsidered*, American Economic Review, 1967, 62(4).
- LANGDON D., *Life Cycle Costing (LCC) as a Contribution to Sustainable Construction: A Common Methodology - Final Methodology*, 2007, Available online: http://ec.europa.eu/enterprise/sectors/construction/studies/life-cycle-costing_en.htm).
- LICHFIELD N., KETTLE P. & WHITBREAD M., *Evaluation in Planning Process*, Elmsford, NY: Pergamon Press, 1975.
- LICHFIELD N., *Il metodo di valutazione di impatto comunitario*, in Studi centro storico Napoli (a cura di), Rigenerazione dei centri storici: il caso di Napoli, Ed. "Il Sole 24 Ore", Milano, 1989, Vol. 2, pp. 589–602.
- LICHFIELD N., *Community Impact Evaluation*. London: Bristol, UCL Press, 1996.
- LICHFIELD N., *Community Impact Evaluation: Principles and Practice*, Routledge, 2005.
- MCLENNAN M., *The Global Risks Report 2021 16th Edition*, World Economic Forum, 2021.
- MISHAN E.J., *Analisi costi-benefici*, Milano, Etas Libri, 1974.
- MANGANELLI B., *Un sistema di equazioni strutturali per la stima di masse di immobili*, Estimo e territorio, 2001, (2).
- MARGLIN S.A., *The Social Rate of Discount and the Optimum Rate of Investment*, Quarterly Journal of Economics, 1963, 77(1), pp. 95–111.

- ELLEN MACARTHUR, *Completing the picture. How the circular economy tackles Climate Change*, Ellen MacArthur Foundation, Material Economics, 2019.
- ELLEN MACARTHUR FOUNDATION, *Towards the circular economy*, Vol. 1: an economic and business rationale for an accelerated transition, 2012.
- LEVY D. & SCHUCK E., *The influence of clients on valuations: the clients' perspective*, Journal of Property Investment & Finance, 2005.
- MORANO P., *L'analisi di regressione per le valutazioni di ordine estimativo*, Torino, Celid, 2002.
- MUNDA G., *Environmental economics, ecological economics, and the concept of sustainable development*, Environmental values, 1997, 6(2), pp. 213–233.
- PACE R.K., BARRY R. & SIRMANS C.F., *Spatial statistics and real estate*, The Journal of Real Estate Finance and Economics, 1998, 17(1), pp. 5–13.
- PEARCE D.W., *Cost-Benefit Analysis*, London, Macmillan, 1971.
- PEARCE D.W. & NASH C.A., *The Social Appraisal of Project*, A text in Cost-Benefit Analysis, London, Macmillan, 1981.
- PEARCE D.W. & ATKINSON G.D., *Capital theory and the measurement of sustainable development: an indicator of "weak" sustainability*, Ecological economics, 1993, 8(2), pp. 103–108.
- PIGOU A.C., *The Economics of Welfare*, London, Macmillan 1932.
- PONS-VALLADARES O. & NIKOLIC J., *Sustainable Design, Construction, Refurbishment and Restoration of Architecture: A Review*, Sustainability, 2020, 12(22), p. 9741.
- PRIZZON F., *Gli investimenti immobiliari*, Torino, Celid, 1995.
- ROSCELLI R., *Misurare nell'incertezza*, Torino, Celid, 1990.
- SIMONOTTI M., *La comparazione e il sistema generale di stima*, Rivista di Economia Agraria, 1985, 4, pp. 543–561.
- SIMONOTTI M., *La stima immobiliare*, Torino, Utet, (1997).
- Sirchia G., *A proposito di tecniche "appropriate"*, Atti e Rassegna Tecnica. Società degli Ingegneri e Architetti in Torino, 1991, 5-6, pp. 330–335.
- SIRCHIA G. (ed.), *La valutazione dei beni culturali*, Roma, Carocci, 2000.
- STIGLITZ J.E., SEN A.K. & FITOUSSI J.P., *Rapport de la Commission sur la mesure des performances économiques et du progrès social*, 2009.
- SUNG K., *A review on upcycling: current body of literature, knowledge gaps and a way forward*, In: The ICECESS 2015: 17th International Conference on Environmental, Cultural, Economic and Social Sustainability, Venice, Italy, 13-14 April 2015, p. 201
- THIEBAT F., *Life Cycle Design*, PoliTo Springer Series, 2019.
- WARREN MYERS G., *The value of sustainability in real estate: a review from a valuation perspective*, Journal of Property Investment & Finance, 2012, 30(2), pp. 115–144.
- WEISBROD B.A., *Collective-consumption Services of Individual Consumption Goods*, Quarterly Journal of Economics, 1964, 78(3), pp. 471–477.
- WILHELMSSON M., *Spatial models in real estate economics*, Housing, theory and society, 2002, 19(2), pp. 92–101.
- UNEP, *Greening the Economy*, Attraverso il life cycle thinking, 2012.
- UNEP, *Towards a Economia Verde - Pathways to Sustainable Development and Poverty Eradication*, 2011.

Economia per la sostenibilità: impatti sull'Estimo e Valutazione economica dei progetti

Elena Fregonara*, Alice Barreca**

parole chiave: economia circolare, sostenibilità debole, architettura sostenibile, modelli edonici, statistica geospaziale, approcci al ciclo di vita

Abstract

Obiettivo del lavoro è presentare i recenti sviluppi espressi dalla disciplina dell'Estimo e Valutazione Economica dei Progetti in relazione all'Architettura sostenibile e alla sua progettazione. L'attenzione è posta sui principi mutuati dall'Economia e, in particolare, sul passaggio dalla visione lineare alla visione circolare e i relativi impatti sulle teorie e pratiche estimative. A partire dall'urgenza dei problemi sottostanti, viene richiamato il Life Cycle Thinking in seno al quale si sviluppano le teorie dell'Economia Verde, dell'Economia Circolare e, recentemente, dell'Economia Elicoidale. Il ragionamento richiama poi alcuni passaggi dell'evoluzione disciplinare per includere la dimensione pubblica, ambientale e sociale. Segue una ricognizione metodologica con attenzione agli approcci recenti – ma ormai consolidati – per la valutazione dei progetti e per le analisi di mercato, riconducibili alle politiche internazionali

in materia energetico-ambientale. Sul versante della valutazione dei progetti di nuova costruzione o di retrofit del patrimonio esistente, centralità è posta sul passaggio dalla prospettiva finanziaria, in ottica di Economia Lineare, alla prospettiva della sostenibilità economico-energetico-ambientale, in ottica di Economia Circolare. Sul versante delle analisi di mercato, è rimarcata l'importanza di esplorare l'impatto dell'architettura sostenibile sui valori e sulle dinamiche della domanda e dell'offerta. I risultati del lavoro evidenziano come l'impiego della valutazione nel ciclo di vita sia fondamentale per il riuso delle risorse, ma anche per il contenimento del loro consumo in fase produttiva. L'uso di strumenti capaci di analizzare congiuntamente l'energia e i costi potrebbe orientare i processi di decisione fra opzioni progettuali diverse, incentivando strategie di conversione e efficienza, sia pure in contesti di sostenibilità debole.

1. INTRODUZIONE

In un quadro generale molto spostato verso l'automazione e la digitalizzazione, sta aumentando la necessità di figure professionali altamente specializzate, con competenze in grado di mettere in pratica il trasferimento dell'innovazione. Per il settore immobiliare e della produzione edilizia a tutte le scale, tali competenze riguardano

anche e in particolare l'ambito delle valutazioni economiche in sinergia con il concetto di "progettazione architettonica sostenibile". La progettazione sostenibile, denominata anche Integrated Design Process (IDP), è un approccio alla progettazione che integra i sistemi, le strutture e le pratiche all'interno del processo che sfrutta in modo collaborativo le specificità di tutti gli attori coinvolti per ottenere un risultato ottimale del progetto. L'IDP aiuta a

[
ridurre gli sprechi massimizzando l'efficienza attraverso tutte le fasi di progettazione e costruzione integrando nella progettazione tutti gli elementi utili a ridurre il consumo e la dispersione di energia quali, ad esempio: produzione di energia attraverso fonti rinnovabili, uso di impiantistica (attiva) efficiente e uno studio dell'involucro (passivo) con caratteristiche bioclimatiche efficienti (Karlessi, et al. 2017).

Tenendo conto del fatto che quasi il 50 % del consumo dell'energia finale dell'Unione Europea è usato per riscaldamento e raffrescamento, di cui l'80 % negli edifici, la riduzione dell'impatto ambientale degli edifici si profila come una delle priorità per affrontare i cambiamenti climatici e le altre sfide della sostenibilità, in linea con gli obiettivi dello sviluppo sostenibile a livello internazionale (Direttiva UE 2018/844). Gli edifici ristrutturati e sostenibili nell'UE contribuiranno a spianare la strada a un sistema energetico decarbonizzato e pulito, tuttavia, solo l'1% degli edifici viene sottoposto ad interventi di ristrutturazione energetica ogni anno, quindi ad un'azione efficace e fondamentale per rendere l'Europa climaticamente neutra (zero emissioni) entro il 2050. Attualmente, circa il 75% degli edifici nell'UE non è efficiente dal punto di vista energetico, ma l'85 -95% degli edifici di oggi sarà ancora in uso nel 2050. (European Commission, A Renovation Wave, 2020). A livello europeo, gli Stati Membri dell'Unione Europea hanno ratificato nel dicembre 2015 l'Accordo di Parigi (COP21), intraprendendo il percorso verso economia e società a impatto climatico zero entro il 2050.

Sul piano normativo, le questioni ambientali sono peraltro affrontate a livello europeo sin dagli anni 2000, con l'emanazione della prima Energy Performance of Buildings Directive nel 2002 (EPBD-Directive 2002/91/EC) e dei successivi aggiornamenti quali la EPBD-Directive 2010/31/EU e la più recente EPBD-Directive 2018/844/EU e integrazioni (Commission Delegated Regulation EU, n. 244/2012). Inoltre, al fine di rafforzare i processi di transizione ecologica e di accelerare gli interventi di efficientamento energetico a fronte dell'urgenza delle questioni ambientali, è stata presentata da parte della Commissione Europea al Parlamento Europeo, nell'ottobre del 2020, la Comunicazione "A Renovation Wave for Europe – greening our buildings, creating jobs, improving lives" (European Commission, 2020). Il documento assume che gli interventi di retrofit e la realizzazione di costruzioni verdi possano non solo supportare il raggiungimento degli obiettivi di decarbonizzazione, ma anche agire come leve economiche, innescando fra il resto processi di valorizzazione degli immobili. Tanto più nell'attuale situazione di indebolimento economico provocata dalla pandemia da Covid-19. Del resto, l'economia italiana è stata colpita dalla stessa pandemia prima e più pesantemente di altri Paesi europei, come afferma il Presidente del Consiglio dei Ministri Draghi, in apertura il Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza – PNRR, all'interno del Programma Next Generation EU. In relazione alla Missione 2 – "Rivoluzione verde e transizione ecologica", il Piano prevede misure e risorse dirette all'efficienta-

mento energetico e alla riqualificazione del parco immobiliare pubblico e privato, insieme a misure e risorse per l'Economia Circolare e l'agricoltura sostenibile, l'energia rinnovabile, la mobilità sostenibile, la tutela del territorio e della risorsa idrica.

Sul piano della ricerca e sperimentazione, i principi dell'Economia Circolare, della Zero Carbon Architecture, dell'Environmental Building Design e del Sustainable Architecture Design Approach stanno sollecitando la progettazione/produzione di edifici energeticamente efficienti e globalmente performanti.

La normativa, le politiche internazionali e la ricerca, coinvolgendo le competenze di ambiti scientifici (e professionali) diversificati e interconnessi, assumono la dimensione territoriale e pongono, di fatto, le basi per la transizione verso le città circolari.

Cogliendo queste trasformazioni in atto, la disciplina dell'Estimo si è negli ultimi anni evoluta sul piano metodologico verso due principali direzioni. Dal lato della produzione edilizia, verso lo sviluppo di strumenti di valutazione economica per supportare le scelte di investimento fra scenari di progetto/tecnologici alternativi nell'ottica dell'ottimizzazione dei costi in rapporto alle performance energetiche, dati i requisiti minimi dalla normativa. Dal lato del mercato, verso l'analisi dell'impatto della performance energetica degli edifici sui processi di formazione dei prezzi e sulle dinamiche di domanda/offerta.

Pertanto, obiettivo del lavoro è presentare una *big picture* sugli strumenti che la disciplina ha recentemente maturato rispetto alle problematiche connesse con la progettazione sostenibile, con affondi sui contributi mutuati dall'Economia o, possiamo dire, dall'"Economia per la sostenibilità".

Dalla lettura delle esperienze degli ultimi anni, nella ricerca come nella didattica, risulta un ruolo della valutazione piuttosto rafforzato, che coglie le potenzialità degli approcci al ciclo di vita non solo dal punto di vista dell'investitore/gestore che opera a livello urbano, ma anche della collettività/del decisore pubblico (data la presenza degli effetti sull'ambiente) e dell'acquirente/produttore (data la presenza degli effetti sui prezzi di mercato). Si leggono precise traiettorie di ricerca su tematiche che, per l'attualità o l'urgenza dei problemi sottesi, sono al centro dell'attenzione a livello internazionale/nazionale. Emerge, per esempio, per ragioni molto argomentate in letteratura, la necessità di studiare la relazione fra valori immobiliari e performance energetica degli edifici, passando dall'analisi della sola classe energetica sui prezzi all'analisi degli attributi "green" degli edifici, anche in relazione alle tipologie edilizie e alla localizzazione spaziale degli immobili stessi. Inoltre, sempre secondo una visione microeconomica, emerge la necessità di esplorare l'integrazione fra gli strumenti per la valutazione della fattibilità finanziaria e l'analisi al ciclo di vita, in grado di internalizzare anche componenti ambientali e patrimoniali, riportando il concetto di ciclo di vita sul piano territoriale/urbano e del mercato.

Ciò premesso, il saggio si articola come segue. Nella sezione 2 si richiamano alcuni fra i principali apporti teorici mutuati dall'Economia a supporto delle valutazioni economiche in ottica di sostenibilità. In sezione 3 si riprendono alcuni passaggi dell'evoluzione disciplinare, con particolare riguardo alle esperienze più recenti e agli strumenti operativi. La sezione 4 conclude il lavoro.

2. ECONOMIA PER LA SOSTENIBILITÀ

Il quadro dei contributi che l'Estimo mutua dall'Economia è molto articolato e complesso da sintetizzare. È tuttavia

possibile richiamare almeno alcuni concetti cardine, ponendo l'attenzione, in questo scritto, sugli elementi dell'Economia per la sostenibilità dei progetti.

Dalla letteratura e dalle problematiche attuali si individuano due aspetti chiave: da un lato, il passaggio dall'Economia Lineare all'Economia Circolare a partire dai principi del Life Cycle Thinking (LCT); dall'altro, l'evoluzione verso la progettazione architettonica sostenibile, a partire dai principi dell'Economia Circolare e della sostenibilità. Si presenta quindi di seguito una breve revisione della recente letteratura sugli argomenti (Tab. 1).

Tabella 1 - Bibliografia ragionata (Fonte: elaborazione delle autrici)

Macrotemi	Autori e anno	Nazione	Obiettivi	Risultati principali
Pensiero sul ciclo di vita	Smith et. al., 2009	California, Stati Uniti	Gli autori descrivono alcune revisioni delle sensibilità delle Reasons For Concern (RFC - dichiarate nel United Nations Framework Convention on Climate Change, 1992) all'aumento della Global Mean Temperature (GMT), e definiscono una comprensione più approfondita del concetto di vulnerabilità che si è evoluto negli 8 anni passati. Sulla base del giudizio degli esperti hanno cercato un'articolazione più attenta dei criteri in base ai quali qualsiasi vulnerabilità specifica può definirsi motivo di preoccupazione per il futuro.	Lo spostamento della transizione del rischio verso delle Global Mean Temperature (GMT) più basse deriva dalla valutazione: (i) delle osservazioni rafforzate degli impatti già verificatisi a causa del riscaldamento fino ad oggi, (ii) una migliore comprensione e una maggiore fiducia nella probabilità di eventi climatici e nell'entità degli impatti e dei rischi associati agli aumenti delle GMT, (iii) un'identificazione più precisa dei settori particolarmente colpiti, gruppi e regioni, e (iv) prove crescenti che anche modesti aumenti della GMT al di sopra dei livelli intorno al 1990 potrebbero esporre il sistema climatico al rischio di impatti molto gravi su diverse scale temporali.
	UNEP, 2012	Francia	La pubblicazione segna i 10 anni di lavoro dell'UNEP/SETAC per l'attività "Life Cycle Initiative" e fornisce uno sguardo sulla pratica corrente di approcci al ciclo di vita. Mostra inoltre le evoluzioni che ha subito negli anni il Life Cycle Assessment e come lo sviluppo del pensiero sul ciclo di vita è stato parallelo all'evoluzione del movimento ambientalista.	I risultati di questo studio basato sulla raccolta delle ricerche, metodologie, sfide e <i>best practices</i> analizzate nei 10 anni di attività hanno dimostrano che dal 1992 in poi, il pensiero sul ciclo di vita ha fornito un base concettuale per sviluppare e perfezionare approcci e strumenti che sono ormai comunemente usati nel settore privato e pubblico e che stanno già stimolando e sostenendo la transizione verso la Green Economy. Riassumendo anche i risultati del RIO+20 Summit il documento mostra come i cambiamenti sono già in corso e hanno creato un effetto a cascata lungo intere filiere, andando oltre le singole aziende, attraversando diversi settori e toccando sia paesi sviluppati che in via di sviluppo.
	Kim e Lim, 2016	Corea	Lo studio si concentra sulla resilienza in relazione alle città e ai cambiamenti climatici.	Questo studio presenta un quadro concettuale per la resilienza urbana nel contesto dei cambiamenti climatici: i fenomeni derivanti da bruschi cambiamenti climatici e quelli derivanti da cambiamenti lenti e costanti.

Segue Tabella 1 - Bibliografia ragionata (Fonte: elaborazione delle autrici)

Segue Tabella 1 - Bibliografia ragionata (Fonte: elaborazione delle autrici)

Macrotemi	Autori e anno	Nazione	Obiettivi	Risultati principali
Pensiero sul ciclo di vita	Giorgi et al., 2017	Italia	L'articolo riporta i risultati di un'analisi dello stato dell'arte sul tema dell'economia circolare con l'intento di restituirne i fondamenti teorici, le interpretazioni e le politiche, nonché di verificare il ruolo che nelle ricerche condotte in questo ambito rivestono gli strumenti di valutazione life cycle.	Attraverso la lettura critica di 50 articoli recenti sono state rilevate diverse interpretazioni e strategie legate al tema dell'economia circolare; inoltre sono state evidenziate le principali leve di azione per l'introduzione del modello economico circolare (riduzione dei costi / riduzione degli impatti ambientali, gestione dei rifiuti / scarsità di risorse). In particolare, dall'analisi è risultato un ruolo ancora limitato degli strumenti life cycle nella verifica dei benefici perseguibili con l'attivazione dei processi di economia circolare.
	MacArthur (2019)	Cowes, Regno Unito	Il lavoro evidenzia il ruolo indispensabile che l'economia circolare svolge nell'affrontare la crisi climatica.	I suoi risultati iniziali indicano che l'economia circolare offre un potenziale unico per aumentare la resilienza agli effetti fisici dei cambiamenti climatici e mira ad avviare un'esplorazione più approfondita dell'argomento. Infine, stabilendo priorità chiare, il documento invita i governi, le imprese, gli investitori e il mondo accademico a integrare i loro sforzi per rispondere ai cambiamenti climatici con quelli per accelerare la transizione verso un'economia circolare.
Economia Verde, Economia Circolare, Economia Elicoidale	UNEP, 2011	Francia	Il lavoro affronta alcune delle sfide emergenti in tutto il pianeta dai cambiamenti climatici e dalla perdita di specie alla desertificazione e al degrado del suolo.	Il rapporto sostiene la causa economica e sociale per investire il due per cento del PIL globale nel "rinverdimento" di dieci settori centrali dell'economia al fine di spostare lo sviluppo e liberare i flussi di capitale pubblico e privato su un percorso a basse emissioni di carbonio ed efficiente sotto il basso livello di risorse.
	MacArthur, 2012	Cowes, Regno Unito	Il rapporto mira a mostrare un modello di economia in cui i beni di oggi sono le risorse di domani, formando un circolo virtuoso che favorisce la prosperità in un mondo di risorse limitate, in contrasto con i tradizionali modelli di consumo lineare ('take-make-dispose').	Il rapporto della Fondazione dipinge un quadro chiaro: il nostro approccio lineare "take-make-dispose" sta portando a scarsità, volatilità e livelli di prezzo che sono inaccessibili per la base manifatturiera della nostra economia. Offre una nuova prospettiva su come potrebbe essere un percorso di transizione verso un'economia circolare su scala globale. Si propone di "integrare" l'economia circolare come risposta credibile, potente e duratura alle nostre sfide attuali e future in termini di crescita e risorse.
	Jawahir e Bradley, 2016	Kentucky, Stati Uniti	Questo documento presenta i principi della produzione sostenibile e fornisce gli elementi tecnologici per garantire la creazione di un'economia circolare. Gli elementi tecnologici basati sulle 6R sono identificati e mostrati come ingredienti essenziali per conseguire la crescita economica, la protezione dell'ambiente e i benefici sociali.	Affrontando solo il pilastro economico della sostenibilità, la valutazione proposta è stata applicata nell'ambito della simulazione di un'attività di selezione del materiale di un determinato componente generico a vantaggio in termini di costi del ciclo di vita complessivo dell'implementazione degli elementi 6R.

Segue Tabella 1 - Bibliografia ragionata (Fonte: elaborazione delle autrici)

Segue Tabella 1 - Bibliografia ragionata (Fonte: elaborazione delle autrici)

Macrotemi	Autori e anno	Nazione	Obiettivi	Risultati principali
Economia Verde, Economia Circolare, Economia Elicoidale	Bradley e Jawahir, 2019	Kentucky, Stati Uniti	Il documento propone il concetto di Helical Economy (HE) come una nuova estensione dell'economia circolare che consente una continua innovazione e crescita economica sfruttando un'infrastruttura Internet of Things (IoT) e immaginando nuovi prodotti, processi e sistemi.	I risultati evidenziano i progressi compiuti dall'Helical Economy (HE): aumento del valore sostenibile attraverso l'utilizzo di tutti gli elementi 6R, maggiore innovazione e crescita economica e una diversa considerazione dello stato transitorio. Questi progressi consentono all'istruzione di sostenere la mobilità economica dei paesi in via di sviluppo, la crescita della popolazione e la cancellazione dell'obsolescenza. Il contesto dell'HE è stato quindi presentato per l'implementazione dell'infrastruttura IoT e la riprogettazione a livello di sistema, a livello di prodotto e processo.
Economia Ambientale ed Economia Neoclassica	Munda, 1997	Spagna	Questo documento presenta una discussione sistematica sugli approcci economici ai concetti di sviluppo sostenibile. Il concetto di sviluppo sostenibile è ampiamente discusso e viene difeso l'argomento secondo cui non è possibile considerare la sostenibilità solo da un punto di vista economico ed ecologico.	Vengono confrontati due diversi approcci economici alla questione ambientale, vale a dire l'economia ambientale neoclassica e l'economia ecologica. I risultati hanno evidenziato alcune differenze come la sostenibilità debole rispetto a quella forte, la commensurabilità rispetto all'incommensurabilità e la neutralità etica rispetto all'accettazione di valori diversi.
	Arthur Pigou, 1932	New York, USA	Il testo definisce l'Economia del Benessere come un campo di studio. Analizza il rapporto tra il reddito nazionale, la sua distribuzione il benessere economico totale, dimensionando il reddito rispetto all'allocazione delle risorse nell'economia e alla struttura istituzionale che governa le operazioni del mercato del lavoro.	I risultati del testo rimangono rilevanti per l'economia contemporanea, alcuni dei più importanti sono le analisi effettuate sui beni pubblici e le esternalità, i criteri per la misurazione del benessere, i problemi relativi all'uso di determinati indici di consumo, la discriminazione dei prezzi, la struttura per l'equità sociale e sulla finanza pubblica.
	Stiglitz et al., 2009	California, USA	La relazione ha il compito di: determinare i limiti del Prodotto Interno Lordo (PIL) come indicatore dei risultati economici e del progresso sociale, individuare le informazioni che possono essere necessarie per portare a una maggiore rilevanza degli indicatori di progresso sociale, valutare la fattibilità di nuovi strumenti di misura e discutere l'appropriata presentazione delle relative statistiche.	Né la contabilità privata né la contabilità pubblica sono state in grado di avvertirci in tempo del collasso dell'economia mondiale in termini di crescita tra il 2004 e il 2007. È anche chiaro che tutte quelle proiezioni erano basate su prezzi ottenuti grazie a una "bolla speculativa" che scoppiando ha causato la crisi del mercato. Il rapporto mostra che con un sistema statistico nazionale più affidabile e accurato, molti governi avrebbero potuto adottare in anticipo misure atte a evitare, o almeno a mitigare, la crisi e gli effetti a lungo termine che ne sono seguiti.
	Karlessi, T., et al. (2017).	Grecia	Questo documento evidenzia i principi della procedura di progettazione integrata e ne collega il processo con le tecnologie di costruzione intelligente. Vengono presentate metodologie di efficienza energetica e tecniche innovative applicate a livello edilizio. Nel quadro delle politiche europee vengono infine	Nel lavoro viene affrontata una prospettiva olistica sulle principali componenti delle Smart Grids come le tecnologie alternative per le energie rinnovabili, i contatori intelligenti e le piattaforme tecnologiche per il funzionamento attraverso la connettività IP. Le attività di ricerca nel progetto Smart GEMS comprendono

Segue Tabella 1 - Bibliografia ragionata (Fonte: elaborazione delle autrici)

Segue Tabella 1 - Bibliografia ragionata (Fonte: elaborazione delle autrici)

Macrotemi	Autori e anno	Nazione	Obiettivi	Risultati principali
Economia Ambientale ed Economia Neoclassica	Karlessi, T., et al. (2017).	Grecia	analizzate le tendenze e le prospettive relative alla progettazione integrata come strumento di supporto per l'obiettivo di "energia quasi-zero" negli edifici.	sforzi multidisciplinari nello stabilire principi generalizzati e tecniche integrative efficaci attraverso la modellazione e la sperimentazione di un ampio quadro di applicazioni per guidare la futura progettazione e implementazione di Smart Grids.

2.1 Dall'Economia Lineare all'Economia Circolare

Il passaggio dall'Economia Lineare all'Economia Circolare germina dai principi del Life Cycle Thinking (LCT), in seno al quale si sviluppano a cascata i principi della Economia Verde, della Economia Circolare e, infine, dell'Economia Elicoidale. Questo passaggio viene recepito dall'Estimo che già aveva colto i principi dell'Economia Ambientale e dell'Economia del Benessere e, con essi, l'apertura alle valutazioni economiche in contesti pubblici.

2.1.1 Life Cycle Thinking

Il Life Cycle Thinking è qui introdotto a partire da alcune premesse e, in particolare, dal ruolo giocato dai cambiamenti climatici negli attuali e futuri scenari economici. Infatti, i risultati del *World Economic Forum* (McLennan, 2021) mostrano come i più rilevanti rischi a lungo termine cui l'economia globale sarà soggetta nel prossimo futuro riguarderanno i cambiamenti climatici, sia in termini di probabilità di verifica degli impatti connessi, sia in termini di peso della spesa economica da sostenere per rimediare gli effetti. Le criticità connesse con i cambiamenti climatici in corso stanno accentuando i limiti dell'attuale sistema economico lineare e, al contempo, stanno accelerando lo sviluppo di nuovi modelli economici per la sostenibilità, in particolare ambientale e sociale.

Il complesso sistema dei cambiamenti climatici può essere distinto in due principali categorie (Kim e Lim, 2016): (i) le variazioni delle condizioni climatiche, che riguardano i cambiamenti lenti in corso; (ii) la variabilità meteorologica, che fa riferimento a cambiamenti improvvisi e violenti. I cambiamenti nelle condizioni climatiche riguardano fenomeni lenti come l'aumento delle temperature e del livello dei mari, insieme al costante aumento del tasso di precipitazione. Sebbene questi cambiamenti possano non essere immediatamente dannosi per la società, potrebbero causare gravi danni in un arco temporale di 50-100 anni; inoltre, una volta verificatisi, sono irreversibili. I cambiamenti improvvisi e violenti derivanti dalla variabilità climatica, invece, includono danni da tempeste, inondazioni e altri tipi di distruzione, a causa di modelli meteorologici insoliti. Il cambiamento climatico potrebbe causare tifoni, forti piogge, siccità, ondate di calore e tempeste di neve di entità senza precedenti nel prossimo futuro. Gli sforzi per contrastare entrambi – cambiamenti

lenti e cambiamenti improvvisi – si sono concentrati principalmente sul ruolo critico delle misure relative alle energie rinnovabili e all'efficienza energetica. Tuttavia, il rispetto degli obiettivi climatici richiederà anche di affrontare il problema del restante 45% delle emissioni, associate alla produzione industriale.

In stretto collegamento con queste premesse, il concetto di resilienza è recentemente diventato centrale per lo sviluppo sostenibile in risposta alla vulnerabilità da shock e stress esterni (compresi i cambiamenti climatici). Il legame concettuale tra resilienza e sostenibilità urbana può essere spiegato in termini di riduzione del rischio di catastrofi (naturali ed antropiche) relative ai cambiamenti climatici (Kim e Lim, 2016). In particolare, il concetto di resilienza enfatizza la flessibilità, la diversità e l'apprendimento adattivo a integrazione dei pilastri di gestione socioeconomica consolidati, come l'*optimality*, l'efficienza, la stabilità e la gestione del rischio (Kim e Lim, 2016). Il Gruppo Intergovernativo di Esperti sul Cambiamento Climatico (IPCC) definisce la resilienza come "la capacità dei sistemi sociali, economici e ambientali di far fronte a eventi pericolosi, rispondendo o riorganizzandosi in modi che mantengono la loro funzione, identità e struttura essenziali e mantenendo, allo stesso tempo, la loro capacità di adattamento, apprendimento e trasformazione" (Kim e Lim, 2016). La relazione dell'IPCC raccomanda di cambiare, in termini di sviluppo sostenibile, l'attuale processo decisionale e i comportamenti in materia di economia, società, tecnologia e politica (Smith et. al., 2009).

Un approccio economico sistemico per affrontare questa sfida è offerto dall'Economia Circolare. Il rapporto della Fondazione Ellen MacArthur (2019) mostra che, se applicata alle quattro principali strategie di produzione di materiali industriali (cemento, acciaio, plastica e alluminio), l'Economia Circolare potrebbe contribuire a ridurre le emissioni del 40% entro il 2050. Se applicata inoltre al sistema alimentare, la riduzione potrebbe ammontare al 49% per lo stesso anno. Nel complesso, queste riduzioni potrebbero consentire agli stessi settori di avvicinarsi del 45% ai loro obiettivi netti a zero emissioni (MacArthur, 2019).

Da un punto di vista teorico, il concetto di Economia Circolare può essere ricondotto all'approccio LCT, che concepisce il progetto come un processo che si sviluppa lungo tutto il suo ciclo di vita, alle diverse scale: materiali,

componenti, sistemi, edifici, distretti urbani e aree territoriali, infrastrutture. Il Life Cycle Thinking può essere definito “un approccio per la valutazione degli impatti di un sistema – inclusi i costi – fondato sulla premessa che il consumo di un prodotto/servizio comporta molteplici attività correlate tra loro” (UNEP, 2012). Questo approccio culturale pone particolare attenzione agli impatti derivanti dalle relazioni tra le diverse fasi contenute all'interno del processo produttivo che, visto nella sua accezione più ampia, prende il nome di ciclo di vita. In particolare, nel settore edilizio le attività cui si fa riferimento nella definizione sono divise in fasi: estrazione delle materie prime, lavorazione dei materiali, trasporto verso il cantiere, distribuzione e consumo, manutenzione, riuso o riciclo e smaltimento. Queste vanno a costituire il ciclo di vita di un edificio, il quale è concepito, secondo un approccio olistico, come un unico grande sistema complesso.

Il Life Cycle Thinking supporta inoltre lo sviluppo di un quadro critico di alternative e strategie possibili per la riduzione dell'impatto ambientale, rendendo in particolare le strategie dell'eco-design uno strumento chiave nei processi decisionali. L'importanza fondamentale attribuita alla fase progettuale risulta coerente con lo sviluppo, verificatosi negli Stati Uniti durante gli anni Cinquanta, di approcci fondati sull'integrazione tra la valutazione della sostenibilità e il ciclo di vita. All'interno del Life Cycle Thinking si sviluppa infatti l'Economia Verde che contiene, a sua volta, l'Economia Circolare (Figura 1), come di seguito richiamato.

2.1.2 Economia Verde, Economia Circolare, Economia Elicoidale

Nell'alveo del Life Cycle Thinking, l'Economia Verde è uno dei pochi ambiti ad essersi sviluppato anche negli anni della crisi economica, grazie alle sue componenti innovative in grado di determinare, nelle realtà produttive che ne assumono almeno in parte i principi, ricadute positive in termini occupazionali e di riduzione degli impatti ambientali (in termini di responsabilità sociale d'impresa).

La Economia Verde può essere definita come “un sistema di attività economiche legate alla produzione, distribuzione e consumo di beni e servizi che si traduce in un migliore benessere umano nel lungo periodo, in modo da non esporre le generazioni future a significativi rischi ambientali e scarsità ecologica” (UNEP, 2011). I concetti chiave della Economia Verde sono la produzione sicura ed ecologica di beni, materiali ed energia, riducendo al minimo gli impatti ambientali come le emissioni di inquinanti nelle matrici ambientali (aria, acqua e terra). Mira inoltre a ridurre al minimo l'uso di risorse energetiche provenienti da fonti non rinnovabili incoraggiando l'uso di fonti rinnovabili e perenni (solare, eolica, geotermica, ecc.). Le strategie messe in atto dalla Economia Verde mirano a promuovere la crescita del capitale umano, naturale e sociale, oltre che finanziario, per raggiungere un migliore livello di benessere. È dunque possibile affermare

come questa accezione di economia possa essere concepita anche come circolare, dal momento che l'uso efficiente delle risorse richiede la riduzione al minimo della produzione di rifiuti e della loro trasformazione in materie prime per nuovi prodotti. In altri termini, la Economia Circolare può essere intesa quale “sottoinsieme” della Economia Verde (Fig. 1).

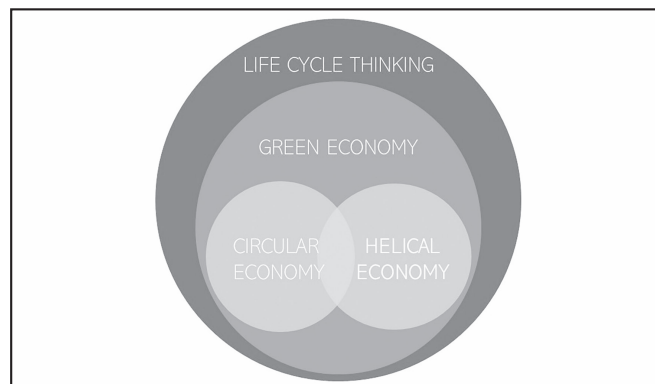


Figura 1 - Relazioni tra Life Cycle Thinking, Economia Verde, Economia Circolare e Economia Elicoidale. (Fonte Elaborazione degli autori).

Tra le possibili definizioni di economia circolare si può segnalare la seguente: “Un’economia circolare è un sistema industriale che è riparativo o rigenerativo per istruzione e per progetto. Sostituisce il concetto di “fine vita” con il riciclo, spostandosi verso l’uso di energia rinnovabile, eliminando l’uso di sostanze chimiche tossiche, che compromettono il riutilizzo, e mira all’eliminazione dei rifiuti attraverso la migliore progettazione di materiali, prodotti, sistemi e, internamente, di modelli di business.” (MacArthur, 2012). Si assume, quindi, un sistema economico pensato per rigenerarsi, in cui tutte le attività, a partire dall'estrazione e dalla produzione, sono organizzate in modo tale che i rifiuti di qualcuno possano diventare risorse per qualcun altro (feedback). Principio fondamentale è l'eliminazione del concetto di rifiuto: tutti i prodotti sono progettati in modo tale che, al termine del loro ciclo di vita, possano essere smantellati e riutilizzati più volte a fini produttivi, creando così un nuovo valore aggiunto. Ciò consente notevoli risparmi economici sui costi di approvvigionamento delle risorse, di produzione e di demolizione, ma soprattutto disaccoppia la crescita economica dallo sfruttamento delle risorse naturali.

È da menzionare infine l'interpretazione di Ryan Bradley (Bradley e Jawahir, 2019) che introduce il concetto di Economia Elicoidale, come una nuova estensione della Economia Circolare, che consente l'innovazione continua e la crescita economica sfruttando un'infrastruttura Internet of Things (IoT) e reinventando gli elementi fondamentali della produzione: prodotti, processi e sistemi. L'Economia Elicoidale dovrebbe usare tutti i 6 elementi base classificati come fondamentali per la crescita economica, per la protezione ambientale e per i benefici sociali: Riduzione,

Riutilizzo, Riciclaggio, Recupero, Riprogettazione e Rifabbricazione (Jawahir e Bradley, 2016). Se l'economia circolare può essere immaginata su un piano bidimensionale, che è il valore massimo teorico in funzione dell'uso degli elementi delle 4R di Riduci, Riutilizza, Ricicla e Recupera, si può immaginare l'Economia Elicoidale come in tre dimensioni dove le 2R mancanti – Riprogettazione e Rifabbricazione – hanno un impatto positivo sull'innovazione e sulla crescita economica. L'economia elicoidale ha dimostrato di aggiungere tre progressi all'Economia Circolare: l'Economia Elicoidale crea un valore più sostenibile attraverso l'utilizzo di tutti gli elementi 6R (Kirchherr et al., 2017) compreso il concetto di *upcycling* (Sung, 2015) a cui è strettamente collegato. Anche l'economia elicoidale incoraggia l'innovazione continua e la crescita economica e considera lo stato transitorio lontano dall'economia lineare.

Il prodotto elicoidale è composto da componenti modulari riconfigurabili in base alla domanda di mercato. Dopo l'uso, il prodotto può essere riconfigurato in un nuovo prodotto o il materiale può essere trasferito fuori dal ciclo di vita del prodotto sotto forma di componenti tramite raccolta di parti e/o materiali attraverso il riciclaggio. A livello di processi l'innovazione maggiore avviene con l'introduzione di una nuova fase, il "reverse output", che permette di riclassificare materiali grezzi e di trasferirli ad altre produzioni. Per quanto riguarda i sistemi, essi sono controllati attraverso un sistema IoT di prodotti, processi e nodi. Ogni prodotto, e i suoi moduli, può essere spostato da una fase o nodo di produzione; tale trasferimento è determinato sempre e solo in base all'obiettivo di mantenere il massimo valore sostenibile. I progressi dati dall'Economia Elicoidale consentono di sostenere la mobilità economica del mondo in via di sviluppo, la crescita della popolazione e l'eliminazione del concetto di obsolescenza. Sebbene in gran parte concettuali, i prodotti reinventati da Bradley e Jawahir (2019), i processi e i sistemi così ripensati sono in grado di revisionare l'infrastruttura dell'economia lineare in atto oggi. Senza la sostituzione di questa infrastruttura, gli strumenti lineari e le infrastrutture attuali continueranno a creare prodotti lineari (Fig. 2).

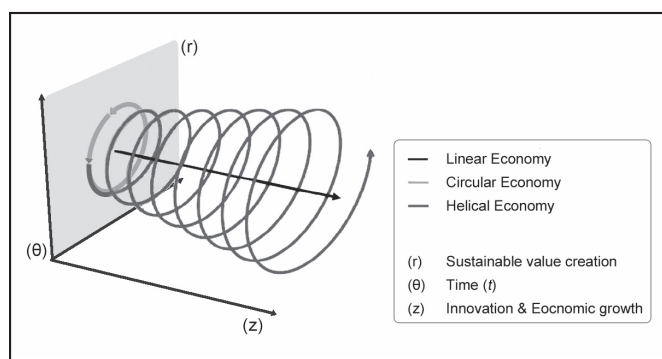


Figura 2 - Relazioni tra Economia Lineare, Economia Circolare e Economia Elicoidale. (Fonte Elaborazione degli autori su Bradley & Jawahir, 2019).

2.1.3 Economia Ambientale ed Economia Neoclassica

L'Economia Neoclassica e l'Economia Ambientale sono le due dimensioni che più hanno influenzato l'attuale impianto delle valutazioni economico-estimative. Una differenza fondamentale tra questi due ambiti economici è l'argomento teorico dell'esternalità data dai cambiamenti climatici, posto che: "l'inquinamento è un'esternalità, ossia una conseguenza involontaria delle decisioni di mercato, che colpisce individui diversi dal decisore" (Munda, 1997).

Il problema della gestione delle esternalità negative è stato riportato al centro del dibattito relativo alle modalità per l'incentivazione dello sviluppo sostenibile: inizialmente, infatti, si è pensato che fornire incentivi agli attori privati per internalizzare tutti i costi delle loro azioni potesse essere una soluzione al problema. Il principale sostenitore di questo punto di vista è Arthur Pigou, che in *The Economics of Welfare* (1932) propone al governo di imporre una tassa sulle emissioni pari al costo dei danni correlati al livello efficiente di controllo (Carbon tax).

Una prima risposta alla prospettiva di Pigou è fornita da Ronald Coase (1960). Coase dimostra come, in un contesto di contrattazione bilaterale senza costi di transazione e senza effetti sulla ricchezza o sul reddito, o impatti di terzi, le due parti negoziali possano raggiungere accordi socialmente vantaggiosi e la quantità complessiva di inquinamento resti indipendente dall'assegnazione dei diritti di proprietà. Di fatto però è improbabile che almeno alcune delle condizioni specificate non si verifichino in relazione alla maggior parte dei problemi ambientali. Pertanto, i negoziati privati non potranno mai internalizzare completamente le esternalità ambientali.

L'economia ambientale può essere quindi considerata come una particolare specializzazione dell'economia neoclassica che considera e analizza due questioni fondamentali: (i) il problema delle esternalità ambientali; e (ii) la corretta gestione delle risorse naturali e, in particolare, l'allocatione intergenerazionale ottimale delle risorse non rinnovabili.

La visione classica degli economisti tende a credere nel valore di "neutralità" e di "oggettività" delle decisioni. La decisione razionale è legata all'esistenza di soluzioni ottimali basate su calcoli in termini monetari o altri termini unidimensionali. Va notato però che l'assegnazione di un valore monetario preciso ad un'esternalità ambientale implica la soluzione di problemi molto complessi, relativi ad esempio all'incertezza connessa all'impatto ambientale, alla definizione del corretto orizzonte temporale e del corretto tasso di sconto. D'altra parte, gli economisti neoclassici presentano una visione piuttosto ottimistica del progresso tecnologico e della crescita economica. In generale, riconoscono che, anche se le tecnologie di produzione possono potenzialmente aumentare la produzione in relazione all'aumento dei fattori produttivi, la produzione complessiva sarà comunque limitata dall'approvvi-

gionamento limitato di risorse primarie. Tuttavia, affermano che questi limiti possono essere superati grazie al progresso tecnologico, poiché "le risorse esauribili non sono un vero problema fondamentale fintanto che il capitale riproducibile prodotto dall'uomo è sufficientemente "sostituibile" alle risorse naturali (Munda, 1997).

Questo concetto è stato criticato da diversi punti di vista, e si è sviluppata una nuova corrente che definisce il "concetto di sostenibilità debole" (Pearce e Atkinson, 1993). Secondo questa visione, "un'economia può essere considerata sostenibile se risparmia più del deprezzamento combinato del capitale naturale e prodotto dall'uomo" (Pearce e Atkinson, 1993). Possiamo trasmettere quindi meno risorse ambientali alle generazioni future finché compensiamo questa perdita aumentando lo stock di capitale (fisico) prodotto dall'uomo. In particolare, in condizioni di sostenibilità debole, la sostenibilità equivale a lasciare alle generazioni future uno stock totale di capitale non inferiore a quello di cui gode la generazione attuale. Le prospettive e gli approcci classici e neoclassici basati su analisi di valutazione monodimensionali si sono quindi evoluti nel tempo per includere analisi pluridimensionali e sempre più le dimensioni ecologica e sociale dell'economia (Stiglitz et al., 2009). L'economia ambientale e il concetto di sostenibilità sono quindi il risultato della mitigazione dell'ottimismo e della fiducia neoclassica per il progresso e lo sviluppo tecnologico tramite l'integrazione delle esigenze e delle incertezze suggeriti dall'ecologia e dalla sociologia nelle analisi, per riguardare sempre più la relazione dei sistemi antropici con quelli ecologici e ambientali (Fig. 3).

L'economia circolare pone quindi le proprie basi su teorie vicine a quelle dell'economia ambientale, non mettendo in discussione i fondamenti di crescita su cui si basa il sistema economico attuale, ma mirando a renderlo più ef-

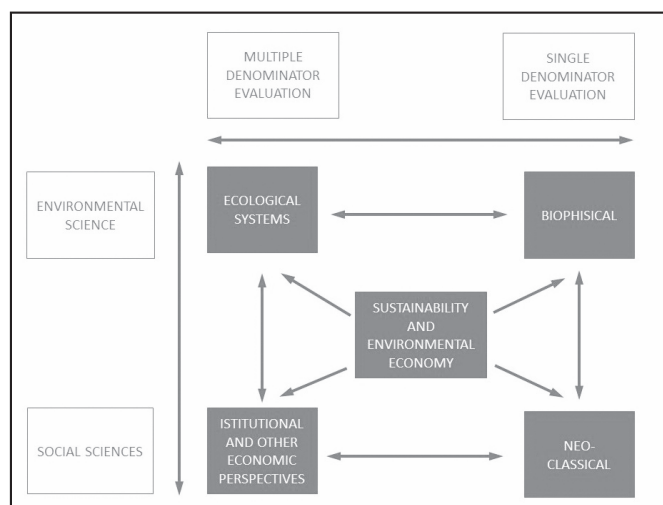


Figura 3 - Un modello concettuale semplificato delle prospettive e degli approcci ecologico-ambientali in relazione al concetto di sostenibilità ed economia ambientale (Elaborazioni degli autori).

ficiente, attribuendo molta fiducia all'innovazione tecnologica e all'efficientamento dei processi produttivi. Rimane quindi in un'ottica di risparmio delle risorse naturali e soluzione dei fattori inquinanti, risultati della crescita produttiva rivolta all'aumento dei consumi e quindi del PIL. In quest'ottica si può sostenere che gli obiettivi di economia circolare delle politiche attuali afferiscano ad un concetto di sostenibilità debole (Giorgi, Lavagna e Campioli, 2017).

Il modello economico oggi assunto viene definito "lineare" e si basa sul processo di estrazione delle materie prime, la loro trasformazione e il loro uso e, a fine vita, il loro smaltimento in discarica senza possibilità di recuperare materia ("take-make-use-dispose"). Accompagnano queste azioni flussi di energia e materia in entrata e flussi quali gas inquinanti, acque reflue e scarti di lavorazione in uscita: la somma di queste due componenti prende il nome di *throughput*.

Proprio la difficoltà nel conciliare tale linearità con la condizione di risorse limitate e di crescita esponenziale della popolazione ha dato impulso allo sviluppo del Life Cycle Thinking, rintracciabile in alcuni testi teorici degli anni Settanta, tra cui gli scritti di Barry Commoner (1972). Le dinamiche dell'economia lineare vengono messe in discussione a livello politico in particolar modo nel 1987 quando il WCED (World Commission on Environment and Development) con il rapporto Brundtland (World Commission on Environment and Development, 1987) formula la nota definizione, dalla quale deriva un obiettivo di benessere della società (anche economico) unito alla salvaguardia dell'ambiente (Giorgi, Lavagna e Campioli, 2017).

L'UNEP (2011) (United Nations Environment Programme) individua l'uso delle risorse come uno dei più importanti collegamenti tra le attività economiche e l'ambiente; in particolare, adotta i concetti del *resource decoupling*, trattato per la prima volta dall'OECD nel 2001 e di *impact decoupling*, che evidenziano come l'aumento del PIL e il benessere dell'umanità debbano disaccoppiarsi dal consumo delle risorse primarie e dagli impatti ambientali. L'OECD sottolinea inoltre la necessità di raggiungere un nuovo modello economico che possa soddisfare la crescita economica e il benessere degli individui, ma che allo stesso tempo salvaguardi l'ambiente (Giorgi, Lavagna e Campioli, 2017).

La transizione verso l'Economia Circolare richiede alcuni cambiamenti sistematici e un forte impulso innovativo in campo tecnologico, sociale, economico, politico e non ultimo organizzativo. Tuttavia, anche in un'economia altamente circolare rimangono elementi di linearità, quali la domanda iniziale di risorse vergini e la necessità di smaltire i rifiuti residui del fine vita. Ogni processo industriale infatti è attualmente caratterizzato da risorse in entrata (input) e risorse in uscita (output). In alcuni casi le risorse prelevate vengono restituite al sistema, mentre altre vengono scartate senza alcun recupero di materiale o valore, diventando così rifiuti.

Al proposito, dev'essere ricordato che il processo indu-

striale all'interno dell'economia circolare si fonda su due aspetti fondamentali: (i) l'energia utilizzata deve provenire da fonti naturali rinnovabili al fine di ridurre la dipendenza dalle risorse fossili, aumentando così la resilienza del sistema economico; (ii) alcuni dei rifiuti prodotti possono tornare ad essere una risorsa dopo una serie di processi standard i quali generano, però, costi aggiuntivi che possono ostacolare le capacità competitive di un'impresa sul mercato. Pertanto, l'uso di materie prime secondarie dev'essere supportato, anche attraverso l'implementazione di politiche pubbliche dedicate. Ciò vale anche per i settori della produzione edilizia e, con essi, dell'architettura e dell'urbanistica.

2.2 Economia Circolare e Architettura sostenibile

Nel campo dell'architettura e dell'urbanistica i principi prima menzionati riportano al concetto di "architettura sostenibile". Assumendo che "I principi dell'economia circolare possono produrre impatti rilevanti sui processi di produzione e consumo, non solo in termini di materie prime e di utilizzo dell'energia nel settore edile, ma anche in termini di comportamento dei consumatori e dei produttori" (Pons-Valladares e Nikolic, 2020), si può osservare come negli ultimi anni l'attenzione alla sostenibilità anche nella costruzione e nella ristrutturazione sia diventato uno dei principali motori di sviluppo del settore e di attenzione da parte dei compratori.

Il concetto di Economia Circolare applicato all'edilizia, essendo riconducibile all'approccio teorico del Life Cycle Thinking, considera il progetto sostenibile come un processo che si sviluppa lungo tutto il ciclo di vita dell'edificio, alle diverse scale, come prima menzionato: materiali, componenti, sistemi, edifici, distretti urbani e aree territoriali, infrastrutture.

Le origini dell'architettura sostenibile e della sua progettazione sono da ricercare negli anni Sessanta-Settanta, periodo durante il quale sono nate le prime teorie per l'ambiente. A partire da queste ultime, in anni recenti sono gemmati diversi approcci alla progettazione attenti all'ecosistema naturale, tra cui il Design for Environment e il Architecture Sustainable Design Approach.

Il Design for Environment consiste in un sistema di strategie progettuali atte a controllare un prodotto, un processo o un servizio, ponendo attenzione ai conseguenti impatti producibili sull'ambiente e sulla salute umana. Nel Design for Environment confluiscono diverse modalità di approccio al problema, quali il Design for Manufacturing, il Design for Packaging, il Design for Assembly, il Design for Disassembly o Deconstruction, il Design for Reuse, il Design for Recycle, etc., aventi tutte le medesime finalità: minimizzare la produzione di rifiuti, le emissioni nocive e gli impatti ambientali, riducendo parallelamente l'uso delle materie prime naturali non rinnovabili. L'attenzione del Design for Environment è concentrata sull'intero ciclo di vita del prodotto, al fine di migliorarne le prestazioni ambientali in ogni sua fase.

L'Architecture Sustainable Design consiste in un approccio che pone al centro la qualità e la sostenibilità, intese queste come obiettivi comuni delle diverse competenze specialistiche che prendono parte al processo di progettazione e, al contempo, il fine ultimo della progettazione integrata (Thiebat, 2019). L'approccio sottolinea peraltro la rilevanza della componente economica per la progettazione sostenibile. Le radici dell'approccio affondano infatti nei principi del Project Management e nei principi della sostenibilità intesa in senso olistico – economica, ambientale, sociale, energetica -, come sintetizzato come in Figura 4.

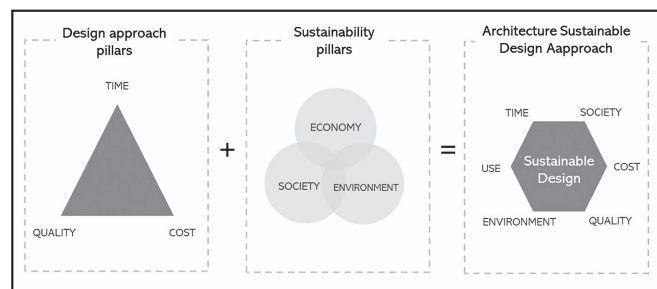


Figura 4 - Architecture Sustainable Design Approach: qualità e sostenibilità. Fonte: Elaborazione degli Autori da Thiébat, F. (2019). Life Cycle and Sustainability. In Life Cycle Design. Springer, Cham.

I principi dell'Architecture Sustainable Design e della Economia Circolare rappresentano, come di seguito rimarcato, due indirizzi teorici particolarmente significativi per le recenti esperienze disciplinari (ed anche per gli sviluppi in prospettiva).

3. ESPERIENZE

L'Estimo è oggi una disciplina autonoma, che trae le proprie origini dall'Economia alla quale si raccorda a partire dai concetti di produzione, scambio e valore. Negli ultimi decenni denuncia una discontinuità molto forte al suo interno: l'evoluzione delle problematiche e le trasformazioni che la disciplina ha affrontato negli anni possono essere lette in corrispondenza di due fasi.

In una prima fase, che parte verso la fine degli anni Ottanta, l'Estimo supera la sua tradizionale vocazione alla stima dei beni privati per aprirsi alla stima dei beni pubblici, delle risorse architettoniche-storiche e dei beni ambientali, alla valutazione della fattibilità dei piani e dei progetti. Per alcuni decenni i principali temi emergenti riguardano, sul versante privato le stime immobiliari, le valutazioni di derivazione economico-finanziaria, l'analisi degli investimenti immobiliari; sul versante pubblico, la stima del valore del bene pubblico, la valutazione dell'uso sociale delle risorse, l'individuazione di misure contabili di costi e benefici sociali dei progetti di intervento, il passaggio dalle valutazioni economico-finanziarie monetarie alle

tecniche multicriteria di supporto alle decisioni.

In questa prima fase, i passaggi più significativi avvengono in concomitanza con alcuni contributi quali quelli di Grittani e Roscelli (Grillenzoni e Grittani, 1994; Roscelli, 1990), che introducono la valutazione economica dei progetti sia privati sia pubblici e le valutazioni qualitative di ordine multicriteria a fianco dell'Estimo classico. I cambiamenti sono legati anche ai contributi teorici più rilevanti colti nella letteratura internazionale. Sul versante delle valutazioni pubbliche, l'Estimo si apre all'analisi Costi e Benefici (Eckstein, 1957; Marglin, 1963; Mishan, 1974; Pearce, 1971; Pearce and Nash, 1981), per la valutazione economico-finanziaria dei progetti di intervento sulle risorse architettoniche e ambientali. In accordo con le teorie dell'Economia del Benessere e dell'Economia Ambientale i costi e i benefici prodotti dai progetti di intervento pubblici o per l'uso sociale delle risorse sono espressi in termini di costi e benefici sociali, le cui modalità di misurazione sono ampiamente trattate nella letteratura (Pigou, 1932; Coase, 1960; Pearce e Nash, 1981) e internalizzate nell'Estimo. Attenzione è posta anche alle varianti sviluppate da Lichfield in seno alle esperienze di pianificazione strutturale in Gran Bretagna nella metà degli anni Settanta (Lichfield, 1975; 1996; 2005), in particolare le Analisi di Impatto Comunitario, riprese negli anni Novanta dalla scuola italiana con interessanti applicazioni anche alla scala urbana (Lichfield, 1989).

L'analisi Costi e Benefici, strumento per eccellenza dell'Economia del Benessere pigouviana, rappresenta un elemento di rottura molto forte ma, al contempo, i limiti dati dalla sua natura quantitativa sollecitano la ricerca sviluppata sul filone delle Analisi Multicriteria di aiuto alla decisione. Mutuando dalla Ricerca Operativa e in specifico dalla Teoria delle Decisioni, dalla fine degli Ottanta ad oggi e non senza interpretazioni differenti, sono sperimentati molteplici strumenti di supporto alla soluzione/strutturazione di problemi decisionali in contesti complessi.

Anche la discussione sul valore del bene pubblico vede il contributo della comunità scientifica estimativa: Fusco Girard (Fusco Girard, 1987) riprende il concetto di Valore Sociale a partire dalle formulazioni di Carlo Forte (Forte, 1968), ridefinendolo in termini di Valore Sociale Complesso o Composto, cogliendo le aperture tracciate in letteratura (Pearce e Nash, 1981). Centralità è posta sul passaggio dalla prospettiva intragenerazionale alla prospettiva intergenerazionale, rispettivamente capaci di riflettere punti di vista individuali e sociali. Dal punto di vista operativo, la discussione si focalizza sull'individuazione del più corretto saggio di sconto, capace cioè di passare da un concetto di equità intragenerazionale (attraverso saggi di mercato), ad un concetto di equità intergenerazionale (attraverso saggi sociali di preferenza temporale).

In questo – si deve notare – è anticipato in certa misura il dibattito sull'uso delle risorse non riproducibili alla base dello sviluppo sostenibile e dell'Economia Circolare.

Inoltre, ampio spazio è dedicato alla trattazione delle

esternalità, positive o negative (Bazzani et al., 1993), nelle loro implicazioni con la valutazione dei progetti pubblici (o privati con rilevanti effetti esterni in termini di benefici/disbenefici), così come degli aspetti qualitativi del valore o "intangibili" o "esternalità pure" non riconducibili alla sfera del mercato (non monetizzabili) (Coscia e Curto, 2017). In seguito, sono ripresi ed esplorati i contributi teorici fondativi che portano alla formulazione del concetto di Valore Economico Totale (Weisbrod, 1964; Krutilla, 1967; Boyle e Bishop, 1985), nel contesto dei beni ad alto contenuto qualitativo (Sirchia, 2000). Ancora, sono esplorati gli strumenti per la misurazione della willingness-to-pay nel contesto di mercati ipotetici o simulati e da curve di utilità tracciate sulla base di preferenze espresse, nel più ampio quadro delle tematiche di analisi del funzionamento del mercato e della sua organizzazione, a partire dai fondamenti della microeconomia. L'analisi del comportamento del consumatore e del suo sistema di preferenze mutua approcci operativi del marketing (quali ad esempio la Conjoint Analysis, i modelli di scelta, la Contingent Valuation per citarne alcuni), posto l'oggetto dallo stile di vita dei consumatori sino alla segmentazione dei mercati.

In quegli anni, il dibattito intorno alla valutazione mostra una forte influenza da parte dell'Economia Ambientale e dai principi dello sviluppo sostenibile, accrescendo il divario fra valore di mercato e valore sociale (Sirchia, 1991).

Rispetto alle analisi di mercato, sempre nella prima fase, si sviluppa in Italia un vivace dibattito sulla teoria valutativa, posti obiettivi e linee critiche condivise. Gli obiettivi convergono sulla necessità di definire un insieme sistematizzato di regole e strumenti, con requisiti di trasparenza, uniformità procedurale, generale validità, di rafforzare la confidenza dei risultati delle stime riducendone le componenti di errore. Inoltre, di riconoscere insieme condivisi di variabili significative ai fini della formazione dei sistemi di prezzi. Ancora, si studia per individuare e misurare variabili sintetiche per l'implementazione di modelli, a partire da dati di qualità controllata.

Non mancano elementi di criticità e problematiche, dovute essenzialmente alla generale condizione di opacità del mercato e alla generale scarsità di studi di previsione degli andamenti del mercato, sia a livello micro-territoriale sia a livello macroeconomico, con ricadute sull'individuazione dei trend e sulla previsione dei valori e delle domande, anche a livello di progetto e di piano.

Posta l'attenzione sull'analisi della dinamicità del mercato in termini di compravendite, ci si concentra sul trattamento delle variabili qualitative e sull'esigenza di maggiore rigore metodologico nelle fasi di campionamento e rilevazione dei dati. Evolvono così le procedure per la formulazione dei giudizi di stima del valore di mercato. Due sono i passaggi più significativi: da un lato, l'introduzione del Market Approach di origine statunitense, sviluppato in Italia (Simonotti, 1985); dall'altro, il superamento dell'approccio deterministico a favore di quello probabilistico, grazie alle procedure pluriparametriche di tipo statistico (Simonotti, 1997; Morano, 2002), da applicare so-

prattutto nelle stime di massa. Entra pertanto nell'Estimo l'utilizzo in modo generalizzato dell'approccio edonimetrico – supportato operativamente dall'Analisi di Regressione Multipla – e la sperimentazione di procedure matematico-statistiche anche più evolute, soprattutto a livello di ricerca, per esempio, sui sistemi pluriequazionali quali i Modelli di Equazioni Strutturali (Manganelli, 2001).

Su queste basi si innestano e sviluppano nell'Estimo le più recenti trasformazioni, ancora in atto (seconda fase).

Uno fra i più attuali e profondi cambiamenti disciplinari nella seconda fase avviene in concomitanza con i processi di trasformazione delle tecnologie. L'innovazione tecnologica ha aumentato la complessità dei processi di produzione anche nel campo edilizio, aprendo un problema di disassamento fra produzione e rinnovamento di non semplice risoluzione, anche considerati i costi di adeguamento per le aziende edilizie. Trasferimento tecnologico e innovazione sono, però, un'opportunità per ridurre i costi e per ottimizzare le performance (non solo energetiche), sia nel caso delle nuove costruzioni, sia nel caso del patrimonio esistente, portando quindi al centro il concetto di sostenibilità e i suoi legami con l'Economia.

Un secondo aspetto di rottura riguarda il concetto di sostenibilità e del modello economico circolare, da cogliere insieme alle relazioni fra sfera ambientale e sfera economica. L'Economia Circolare, come richiamato in sezione 2, porta al suo interno i principi alla base dell'approccio sistemico alla costruzione e i relativi strumenti di supporto alla progettazione e ai processi di costruzione. Ancora, assume il collegamento con il Life Cycle Thinking, filone teorico alla base di alcuni fra i più recenti apporti operativi alla valutazione dei progetti: il Life Cycle Thinking raccorda infatti gli obiettivi della sostenibilità economica con quelli della sostenibilità ambientale sin dai primi stadi del processo progettuale, attraverso strumenti e metodologie adatti ad individuare le soluzioni costruttive ottimali sia sotto il profilo economico, sia in termini di "performance globale". Gli strumenti di matrice Life Cycle Thinking in campo valutativo affrontano la questione del come conciliare obiettivi economici ed ambientali spesso assai diversi, supportati da analisi i cui risultati, il più delle volte, sono differenziati, con conseguenti problemi sul piano del decision-making. Ancora, risponde alle sollecitazioni del quadro regolamentativo internazionale in materia di politiche energetiche e di sostenibilità ambientale, che si ribaltano sull'attività progettuale e sulle professioni coinvolte.

Un terzo aspetto riguarda il fatto che la ricerca si sta muovendo verso l'integrazione fra le discipline dell'Architettura e dell'Ingegneria, accompagnata da sinergie positive che si riflettono anche sulle professioni e sulla formazione. Ciò si legge chiaramente dalla produzione scientifica degli ultimi anni, sempre più intrecciata rispetto ai temi di ricerca e alle sedi editoriali presso le quali sono condivisi i risultati.

Un quarto aspetto riguarda il ruolo della fattibilità economico-finanziaria degli interventi nel contesto del mercato

immobiliare e della produzione edilizia, il quale si sta spostando verso l'analisi dei processi di monetizzazione delle prestazioni degli immobili: orientare il mercato verso immobili ad alto contenuto tecnologico e basso impatto ambientale può agire sul rapporto qualità-architettura, sull'evoluzione dell'industria delle costruzioni, sulla definizione di nuove strategie progettuali nel settore edilizio, sullo sviluppo di nuovi comportamenti delle domande.

In tutto questo, la Statistica conferma il proprio apporto strumentale – ma fondamentale – per l'Estimo e le valutazioni economiche, tanto più se si considera la sempre più crescente disponibilità di big data e open data.

Anche per questi elementi la disciplina assume un ruolo centrale, posto che si andrà ad operare in presenza di costi d'innovazione, di adeguamento della progettazione e dei processi di costruzione molto elevati da una parte, risorse scarse e sempre più elevate esigenze di qualità dall'altra. Così dimostrano gli sviluppi – più recenti – sia sul versante della valutazione economica dei progetti sia sul versante delle analisi di mercato, di seguito argomentati.

3.1 Valutazione economica dei progetti

Quando la valutazione economica dei progetti entra a far parte dell'Estimo si concreta il passaggio dalla formulazione del giudizio di valore, estimativo o economico, alla formulazione dei giudizi di convenienza economica.

Operativamente, mutuando dall'Economia dell'Azienda, la verifica della fattibilità dei progetti privati assume il modello anglosassone di capital budgeting, risolto mediante l'approccio Discounted Cash-flow Analysis -DCFA (Baldwin e Clark, 1992; Jaffe e Sirmans, 1995). La DCFA di fatto porta all'interno della disciplina l'analisi degli investimenti – secondo l'approccio statunitense a sua volta fondato sull'analisi dei processi di capitalizzazione – adattandola al settore degli interventi immobiliari con finalità previsionale (Prizzon, 1995). Si concentra sulle fasi progettuali e realizzative secondo un approccio economico lineare.

Il passaggio dall'Economia Lineare "verso" l'Economia Circolare avviene successivamente anche con l'inclusione, nella disciplina, di approcci al ciclo di vita: il cambiamento ha interessato, ampliandolo, il tema della verifica della sostenibilità dei progetti verso le sue implicazioni funzionali, tecnologiche, energetiche, sociali e ambientali, in ottica di ciclo di vita e in relazione alle componenti della sostenibilità ambientale nel ciclo di vita (Fregonara, 2017). Al centro è posto il supporto ai processi di scelta fra scenari tecnologici alternativi in ottica di costo ottimale, attraverso l'approccio Life Cycle Costing - LCC o Life Cycle Cost Analysis - LCCA (ISO 15686-5:2017), introdotto in Italia come criterio di decisione (DLgs 50/2016 a implementazione delle Direttive 2014/23/EU, 2014/24/EU, 2014/25/EU), anche integrato all'approccio Life Cycle Assessment - LCA (ISO 14040:2006).

Passando dalla concezione lineare alla concezione circolare del processo progettuale, si passa dalla DCFA alla

LCCA (Flanagan e Norman, 1983; Langdon, 2007; Koning et al. 2010; DOE, 2014), come schematizzato in Figura 5.

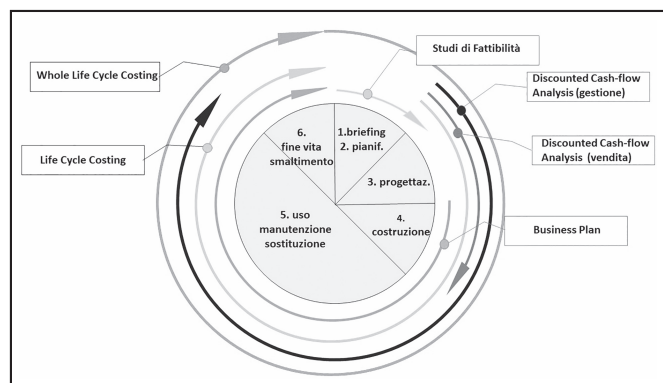


Figura 5 - Dalla Discounted Cash-flow Analysis alla Life Cycle Cost Analysis (Fonte: elaborazione degli Autori da E. Fregonara, 2015, Valutazione sostenibilità progetto. Life Cycle Thinking e indirizzi internazionali, Franco Angeli, Milano, p. 20).

L'elemento di cambiamento più forte è l'inclusione, nella valutazione in ottica circolare, degli stadi che precedono e seguono le fasi progettuali e realizzative dell'opera. Centrale è anche l'evoluzione dal concetto di costo di costruzione, così come concepito dall'Estimo tradizionale, al concetto di Costo Globale (EN 15459-1:2017) definito dalla normativa internazionale in materia di politiche energetiche (Directive 2018/844/EU - EPBD recast). Il Costo Globale è stato anche integrato dalle componenti ambientali monetizzate mediante il calcolo dell'Embodied Energy e dell'Embodied Carbon, dai costi di smantellamento/smaltimento e dal calcolo del valore residuo, sperimentando così approcci LCCA e LCA congiunti (Fregonara et al., 2016).

Il valore di costo, ripensato, si declina in rapporto alle fasi dei processi di sviluppo immobiliare e rispetto al ciclo di vita del progetto. Centrale è l'impiego delle procedure miste (o semiparametriche) per il calcolo del costo, ottenute associando elaborazioni di tipo analitico e sintetico. Queste prevedono la scomposizione dell'edificio nei suoi elementi costruttivi e l'individuazione dei relativi costi (da differenziare in relazione alle specifiche caratteristiche di progetto, alla fase del processo edilizio, ai soggetti di riferimento). Si perviene quindi alla definizione di una "struttura" dei costi di natura incrementale, che permette di definire la corretta entità rispetto a tempi e soggetti interessati, dal costo tecnico di costruzione sostenuto dall'impresa edile al costo globale sostenuto dal gestore/utente finale.

Come conseguenza mutano anche i presupposti per l'analisi di rischio e incertezza. Introdotta nelle prime ricerche in Italia nella metà degli anni Novanta, principalmente con approcci deterministici/probabilistici per il trattamento del rischio specifico di mercato (Curto e Fregonara, 1999), è data oggi nuova centralità alla compo-

nente del rischio di costo sia nell'analisi degli investimenti sia nelle previsioni di costo globale. L'analisi del rischio di costo, risolta mediante approcci deterministici o probabilistici associati alla LCCA, è centrale nel quadro economico attuale e di prospettiva, caratterizzato da crescente incertezza che si riflette sulle dinamiche della compravendita, sui prezzi di mercato, sull'attività edilizia e sui costi di produzione.

Un ulteriore cambiamento è segnato dall'introduzione di teorie e strumenti di Project Management per monitorare e controllare i processi di sviluppo immobiliare – nel loro ciclo di vita –. In particolare, il Project Construction Management, che interessa la fase preliminare (pre-cantiere) ed esecutiva (di cantiere), l'Asset Management, il Property Management e il Facility Management, diretti alla gestione di attività immobiliari sotto il profilo patrimoniale/tecnico-operativo, con riferimento a singoli edifici e/o patrimoni immobiliari. Nell'ambito del primo raggruppamento – Project Construction Management – particolare interesse è rivolto alla programmazione e controllo dei costi in relazione ai tempi e, in specifico, all'Earned Value Method che trova importanti applicazioni anche nel campo dei progetti complessi e infrastrutturali. Elemento di avanzamento disciplinare è rappresentato anche dalla congiunzione di approcci di programmazione economica e di monitoraggio/controllo dei costi, attraverso l'associazione di tecniche di Cost Control, Discounted Cash-flow Analysis/Life Cycle Cost Analysis e Cost-risk Analysis.

Si assume in premessa che il costo di gestione è più rilevante che non il costo di costruzione, confermando l'importanza di includere nella valutazione tutte le fasi di vita delle opere edilizie, in ottica "dalla culla alla tomba" o, per assumere appieno i principi dell'Economia circolare, in ottica "dalla culla alla culla" (Braungart e McDonough, 2009).

3.2 Analisi di mercato

Per valutare la sostenibilità del progetto è necessario comprendere l'impatto delle costruzioni sostenibili sulla produzione edilizia e sul mercato, in termini di domanda, offerta e valori. La conoscenza della struttura e delle dinamiche dei mercati immobiliari di riferimento sono un fondamentale supporto alla progettazione economica sostenibile.

Questo è tuttavia un traguardo raggiunto recentemente: Warren-Myers (2015) nel 2015 affermava infatti che la mancanza di prove empiriche, conoscenze appropriate, ricerca applicata e imparziale e strumenti di valutazione per la sostenibilità, rendevano più complesso il ruolo dei valutatori nel fornire un'opinione informata del valore di mercato sia per gli asset esistenti sia per quelli sostenibili (Warren-Myers, 2015).

Nelle recenti ricerche la situazione sta cambiando fornendo dati per confermare l'esistenza di una relazione tra sostenibilità e valore di mercato e la monetizzazione da parte dei compratori delle qualità green negli edifici resi-

denziali. Tuttavia, considerato che le qualità ambientali degli edifici non sono ancora completamente apprezzate dalla domanda e dai compratori, i valutatori hanno ancora il fondamentale compito di fornire una giustificazione finanziaria per motivare l'investimento di risorse nella sostenibilità degli immobili commerciali, piuttosto che nell'architettura tradizionale (Levy e Schuck, 2005).

Sono state condotte numerose ricerche sulla relazione tra sostenibilità e valore di mercato; tra gli approcci maggiormente diffusi e applicati, hanno avuto forte impulso i modelli edonici, risolti mediante le analisi di Regressione Multipla (Simonotti, 1997; Morano, 2002). Questi affiancano e sviluppano gli indicatori elementari della statistica descrittiva, principalmente per lo studio delle determinanti dei prezzi con particolare riguardo alle caratteristiche intrinseche tecnologiche, fisico-tecniche e alla Classe Energetica degli immobili concepiti nel loro ciclo di vita. Studi sugli effetti dell'Energy Performance Certificate sui prezzi di offerta sono stati sviluppati negli anni passati mediante l'applicazione di modelli di regressione multipla standard, risolti mediante l'algoritmo Ordinary Least Squares (OLS) o approcci edonici (Fregonara et al. 2014; Fregonara et al., 2017).

Un percorso parallelo, iniziato negli anni Ottanta, è relativo all'analisi del mercato immobiliare tramite l'uso di modelli di Regressione spaziale (globali) per potere gestire la componente spaziale del mercato immobiliare e la sua influenza sul processo di formazione dei prezzi.

La statistica spaziale ben si presta per l'analisi del mercato e per lo studio del processo di ridefinizione delle gerarchie territoriali attualmente in atto nelle città, secondo un taglio microeconomico (Barreca et al., 2018, 2020a). Lo studio delle relazioni spaziali può aiutare a comprendere se e in che misura le costruzioni ecocompatibili possono influire sull'attuale ridefinizione delle gerarchie spaziali, con un effetto di formazione e conoscenza sulle dinamiche dei mercati a livello territoriale/urbano.

Trattando con variabili territoriali – tanto più nell'ottica circolare – il nodo dell'influenza delle componenti spaziali (definite dipendenza ed eterogeneità spaziali) e temporali (autocorrelazione temporale) dei dati del mercato immobiliare, non possono infatti essere trascurati sia nella modellazione sia nell'uso previsivo dei modelli. Esistono due modi per eseguire la modellazione statistica spaziale (Dubin, 1998). Il primo approccio si basa sull'ipotesi di un processo spaziale definito come una matrice che rappresenti il peso dello spazio nella definizione di un determinato fenomeno. Il secondo approccio si basa su un'ipotesi relativa alla forma funzionale della matrice di covarianza (da cui derivano i cosiddetti modelli geostatistici) (Wilhelmsson, 2002). Il primo approccio, in particolare, è stato largamente e classicamente utilizzato nella letteratura inerente alle analisi immobiliari (Pace et al., 1998).

La statistica geospaziale cerca di analizzare le strutture spaziali dei dati a due diverse scale: larga scala e piccola scala, tramite i concetti di stazionarietà e isotropia. Gli obiettivi principali della statistica spaziale consistono nel poter fare: (i) inferenza sulla struttura spaziale (sia la verifica sull'esistenza di una struttura spaziale sia la sua stima); (ii) inferenza sulla struttura non spaziale (stima degli effetti di un comportamento, effetti della covarianza, stima del numero di punti, ecc.); (iii) previsione di variabili non osservate e latenti (Kriging e Surface Analysis). Il problema della dipendenza spaziale e temporale è stato generalmente trattato negli anni mediante l'applicazione di approcci di geostatistica. Questi sono risolti mediante approcci afferenti a due gruppi principali: le statistiche spaziali di tipo globale e quelle di tipo locale. Tra le tecniche di tipo globale, basate sul calcolo dell'autocorrelazione spaziale, di una matrice di prossimità e del valore lag della stessa variabile, si ritrovano gli indici di Moran e di Geary. Tra i vari tipi di regressioni spaziali globali si ricordano in particolare lo Spatial Lag Model (SLM) e lo Spatial Error Model (SEM) (Barreca et al., 2020b, 2021). SLM gestisce l'autocorrelazione dei residui della regressione tramite l'aggiunta tra le variabili esplicative di una variabile Lagged, mentre SEM gestisce l'autocorrelazione spaziale tramite l'aggiunta di una variabile espressione di una matrice di peso spaziale. Entrambi i metodi sono basati su dati geospaziali (areali o puntuali) sono basati sull'algoritmo Maximum Likelihood Estimation (MLE) e verificati tramite Lagrange Multiplier tests.

A partire dai modelli globali, tra gli approcci definiti "locali" che attualmente sono maggiormente impiegati e che presentano maggiori possibilità di sviluppo dev'essere menzionata la Regressione Ponderata Geograficamente (Geographically Weighted Regression - GWR). La GWR nelle analisi di mercato immobiliare permette di modellizzare la variazione spaziale dei prezzi delle abitazioni, misurando coefficienti diversi per ogni variabile per ogni osservazione nello spazio. Questo permette di capire in che misura la localizzazione e tutte le variabili osservate influiscono a vario titolo sulla formazione del prezzo con coefficienti diversi in base all'area urbana in cui si trova l'osservazione. Tali modelli permettono inoltre di stimare (inferire) il valore di immobili anche in punti geografici non osservati, gestendo le componenti spaziali e la dipendenza spaziale meglio dei modelli di regressione globali.

3.3 Quadro sinottico degli strumenti

La tassonomia degli strumenti e delle relative matrici disciplinari permette, alla luce dei cambiamenti prima sottolineati, di tracciare un quadro di sintesi (Figura 6). Lo schema rappresenta una sinossi degli strumenti operativi (e delle relative teorie di origine) evidenziando i più recenti innesti, in ottica di valutazione della sostenibilità.

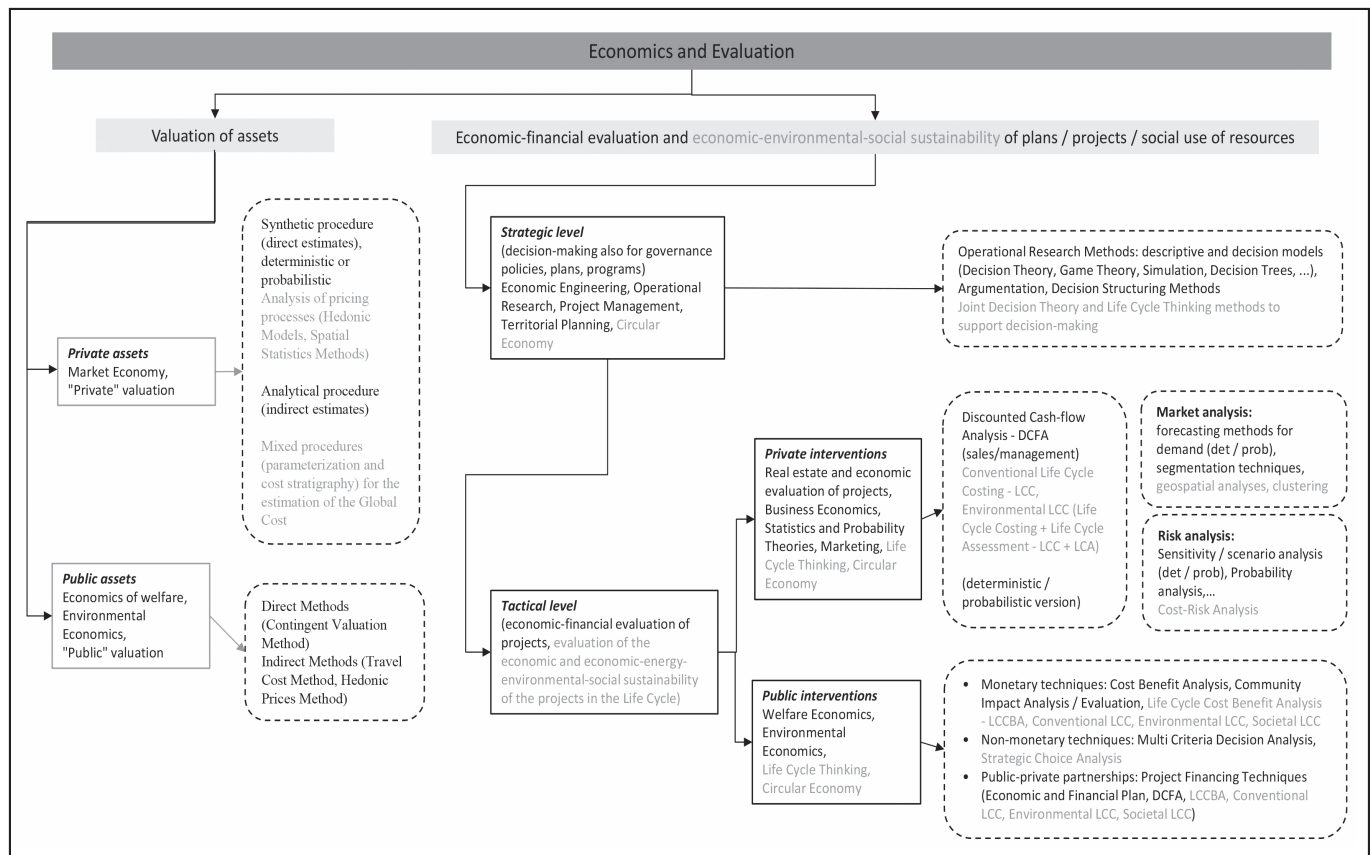


Figura 6 - Quadro sinottico degli strumenti e approcci alla valutazione, con evidenza ai più recenti innesti in ottica di valutazione della sostenibilità.

4. CONCLUSIONI

Partendo dai cambiamenti dovuti all'evolvere della realtà e alle nuove e sempre più urgenti istanze ambientali anche nel campo dell'architettura, nello scritto si è ragionato sugli strumenti dell'Estimo e valutazione economica dei progetti che possono supportare l'Architettura sostenibile. Il lavoro ha posto pertanto l'obiettivo di presentare una *big picture* sull'evoluzione delle relazioni tra economia e sostenibilità e una ricognizione sugli strumenti che la disciplina ha maturato rispetto alle problematiche connesse con la progettazione architettonica sostenibile.

L'articolo si è sviluppato in due parti. La prima è stata dedicata a richiamare gli sviluppi della disciplina estimativa, sottolineando i più recenti e oramai consolidati, alle cui matrici teoriche sono stati costantemente rapportati. La seconda ha presentato le esperienze maturate, le teorie e gli strumenti di analisi consolidati per l'analisi delle diverse componenti della sostenibilità e delle sue relazioni con la gestione del rischio e dell'incertezza, con il mercato immobiliare e l'innovazione tecnologica dei processi di produzione (architettonica).

Le riflessioni ripotute hanno inteso fornire un contributo allo sviluppo della letteratura di settore e, in particolare,

al dibattito tutt'oggi vivo sull'evolversi della disciplina. Con uno sguardo in avanti, è stato possibile individuare spunti che, in sinergia con le traiettorie della ricerca e per finalità formative, la comunità scientifica sarà chiamata ad affrontare. In particolare, sul ruolo delle valutazioni economiche nella progettazione sostenibile e nel processo di transizione verso l'Economia Circolare.

Dallo scritto emerge uno spunto particolarmente importante – oggetto di uno studio in corso – ovvero il ruolo degli strumenti di valutazione al ciclo di vita a supporto della definizione di politiche volte non solo al riuso delle risorse, ma anche e soprattutto al contenimento del loro uso nelle fasi di produzione. In questo senso, l'uso congiunto di strumenti capaci di misurare la quantità di energia necessaria nelle fasi di produzione e i relativi pesi economici, può orientare i processi di decisione fra opzioni progettuali incentivando (anche mediante dispositivi fiscali) l'uso di tecnologie capaci di utilizzare meno risorse (materie prime e materie prime seconde) e supportare le strategie di conversione, sia pure in contesti di sostenibilità debole. A questo si accompagna – come nuovamente emerge dallo studio – l'esigenza di approfondire l'impatto della sostenibilità sui mercati delle abitazioni e della produzione edilizia, anche a livello di singoli attributi e mediante l'uso di tecniche appropriate.

* **Elena Fregonara**, Politecnico di Torino, Dipartimento Architettura e Design
e-mail: elena.fregonara@polito.it

** **Alice Barreca**, Politecnico di Torino, Dipartimento Architettura e Design
e-mail: alice.barreca@polito.it

Contributo degli autori

Gli Autori hanno contribuito al lavoro in parti uguali.

Bibliografia

APPRAISAL INSTITUTE, *The Appraisal of real Estate*, Chicago, 2001.

BALDWIN C., CLARK K., *Capabilities and Capital Investment: New Perspectives on Capital Budgeting*, Journal of Applied Corporate Finance, Summer, 1992, pp. 67–87.

BARRECA A., CURTO R. & ROLANDO D., *Housing vulnerability and property prices: Spatial analyses in the Turin real estate market*, Sustainability, 2018, 10(9), p. 3068.

BARRECA A., CURTO R. & ROLANDO D., *Urban vibrancy: An emerging factor that spatially influences the real estate market*, Sustainability, 2020, 12(1), p. 346.

BARRECA A., CURTO R. & ROLANDO D., *Is the Real Estate Market of New Housing Stock Influenced by Urban Vibrancy?*, Complexity, 2020.

BARRECA A., FREGONARA E. & ROLANDO D., *EPC Labels and Building Features: Spatial Implications over Housing Prices*, Sustainability, 2021, 13(5), p. 2838.

BAZZANI G., GRILLENZONI M., MALAGOLI C., RAGAZZONI A., *Valutazione delle risorse ambientali*, Edagricole, Milano, 1993.

BOYLE K.J. & BISHOP R.C., *The Total Value of Wildlife Resources: Conceptual and Empirical Issues*, in Economists Workshop on Recreational Demand Modeling. Association of Environmental Resources, Boulder, 1985, Col. 17-18.

BRADLEY R. & JAWAHIR I.S., *Designing and Redesigning Products, Processes, and Systems for a Helical Economy*, Procedia Manufacturing, 2019, 33, pp. 168–175.

BRUNDTLAND G.H., *Our common future - Call for action*, Environmental Conservation, 1987, 14(4), pp. 291–294.

BRAUNGART M. & McDONOUGH W., *Cradle to cradle*, Random House, 2009.

COASE R., *The Problem of Social Cost*, Journal of Law and Economics, 1960, 3 (1), 1–44.

COMMONER B., *The environmental cost of economic growth*, Population, resources and the environment, 1972, 3, pp. 343–63.

COSCIA C. & CURTO R., *Valorising in the absence of public resources and weak markets: The case of "Ivrea, the 20th century industrial city"*, Appraisal: From Theory to

Practice, 2017, 79–99.

CURTO R.A., FREGONARA E., *Decision Tools for Investments in the Real Estate Sector with Risk and Uncertainty Elements*, Jahrbuch fuer Regionalwissenschaft, 1999, 19(1), pp. 55–85.

DEPARTMENT OF ENERGY (DOE), *Life Cycle Cost Handbook Guidance for Life Cycle Cost Estimate and Life Cycle Cost Analysis*, Washington, D.C., USA, 2014.

DIRECTIVE 2018/844/EU of the European Parliament and of the Council of 30 May 2018 amending Directive 2010/31/EU on the energy performance of buildings and Directive 2012/27/EU on energy efficiency

KIM D. & LIM U., *Urban resilience in climate change adaptation: A conceptual framework*, Sustainability, 2016, 8(4), p. 405.

DUBIN R.A., *Spatial autocorrelation: a primer*, Journal of housing economics, 1998, 7(4), pp. 304–327.

ECKSTEIN O., *Investment Criteria for Economic Development and the Theory of Inter-temporal Welfare Economics*, Quarterly Journal of Economics, 1957, 711, pp. 56–85.

ELLEN MACARTHUR FOUNDATION, *Towards the Economia Circolare. Economic and Business Rationale for an Accelerated transition*, Cowes, UK, Ellen MacArthur Foundation, 2012. Available online: <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/publications>.

ELLEN MACARTHUR FOUNDATION, *Growth within: A Economia Circolare Vision for a Competitive Europe*, Cowes, UK, Ellen MacArthur Foundation, 2015. Available online: <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/publications>.

EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION - CEN, Standard EN ISO 15459-1:2017. *Energy Performance of Buildings-Economic Evaluation Procedure for Energy Systems in Buildings*, Brussels, Belgium, European Committee for Standardization, 2017.

EUROPEAN UNION, EUROPEAN COMMISSION, *Communication from the Commission to the European Parliament, the council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions, Towards a Circular Economics: A Zero Waste Programme for Europe*. Brussels, Belgium, 2 July 2014, COM 398 Final. Available online: <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri>

=celex%3A52014DC0398).

EUROPEAN UNION, EUROPEAN COMMISSION, *Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions, Closing the Loop - An EU Action Plan for the Circular Economics*. Brussels, Belgium, 2 December 2015, COM 614 Final, 2015. (Available online: <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:52015DC0614>).

EUROPEAN COMMISSION, *A Renovation Wave for Europe - greening our buildings, creating jobs, improving lives. Communication from the European Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions*, Brussels, 14th October 2020. Retrieved from: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?qid=1603122220757&uri=CELEX:52020DC0662>. Last accessed 5th March 2021.

FLANAGAN R. & NORMAN G., *Life Cycle Costing for Construction*, London, UK, Royal Institution of Chartered Surveyors, 1983.

FORTE C., *Elementi di estimo urbano*, Milano, EtasLibri, 1968.

FREGONARA E., ROLANDO D. & SEMERARO P., *Energy performance certificates in the Turin real estate market*, Journal of European Real Estate Research, 2017, 10, pp. 149–169.

FREGONARA E., ROLANDO D., SEMERARO P. & VELLA M., *The impact of Energy Performance Certificate level on house listing prices*, First evidence from Italian real estate. Aestimum, 2014, 64, p. 143.

FREGONARA E., *Methodologies for Supporting Sustainability in Energy and Buildings. The Contribution of Project Economic Evaluation*, Energy Procedia, 2017, 111, pp. 2–11.

FREGONARA E., GIORDANO R., ROLANDO D., TULLIANI J.M., *Integrating Environmental and Economic Sustainability*, in New Building Construction and Retrofit, Journal of Urban Technology, 2016, 23(4), pp. 3–28.

FUSCO G.L., *Risorse architettoniche e culturali: valutazioni e Strategie di conservazione*, Milano, 1987.

GIORGI S., LAVAGNA M., CAMPIOLI A., *Economia circolare, gestione dei rifiuti e life cycle thinking: fondamenti, interpretazioni e analisi dello stato dell'arte*, Ingegneria dell'Ambiente, 2017, 4, 3, pp. 263–276.

GRILLENZONI GRITTANI G., *Estimo. Teoria, procedure di valutazione e casi applicativi*, Bologna, Calderini, 1994.

SMITH J.B., SCHNEIDER S.H., OPPENHEIMER M., YOHE G.W., HARE W., MASTRANDREA M. D. ... & VAN YPERSELE J.P., *Assessing dangerous climate change through an update of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) "reasons for concern"*, Proceedings of the national Academy of Sciences, 2009, 106(11), pp. 4133–4137.

JAWAHIR I.S. & BRADLEY R., *Technological elements of circular economy and the principles of 6R-based closed-loop material flow in sustainable manufacturing*, Procedia Cirp, 2016, 40, pp. 103–108.

JAFFE A.J., SIRMANS C.F., *Fundamentals of Real Estate Investment*, Englewood Cliffs, Prentice Hall, 1995.

KARLESSI T., KAMPALIS N., KOLOKOTSA D., SANTAMOURIS M., STANDARDI L., ISIDORI D. & CRISTALLI C., *The concept of smart and NZEB buildings and the integrated design approach*, Procedia engineering, 2017, 180, pp. 1316–1325.

KIRCHHERR J., REIKE D., HEKKERT M., *Conceptualizing the circular economy: An analysis of 114 definitions*, Resour, Conserv. Recycl., 2017, 127, pp. 221–232.

KÖNIG H., KOHLER N., KREISSIG J. & LÜTZKENDORF T., *A Life Cycle Approach to Buildings. Principles, Calculations, Design Tools*, Regensburg, Germany Detail Green Books, 2010.

KRUTILLA J.V., *Conservation Reconsidered*, American Economic Review, 1967, 62(4).

LANGDON D., *Life Cycle Costing (LCC) as a Contribution to Sustainable Construction: A Common Methodology - Final Methodology*, 2007, Available online: http://ec.europa.eu/enterprise/sectors/construction/studies/life-cycle-costing_en.htm.

LICHFIELD N., KETTLE P. & WHITBREAD M., *Evaluation in Planning Process*, Elmsford, NY: Pergamon Press, 1975.

LICHFIELD N., *Il metodo di valutazione di impatto comunitario*, in Studi centro storico Napoli (a cura di), Rigenerazione dei centri storici: il caso di Napoli, Ed. "Il Sole 24 Ore", Milano, 1989, Vol. 2, pp. 589–602.

LICHFIELD N., *Community Impact Evaluation*. London: Bristol, UCL Press, 1996.

LICHFIELD N., *Community Impact Evaluation: Principles and Practice*, Routledge, 2005.

MCLENNAN M., *The Global Risks Report 2021 16th Edition*, World Economic Forum, 2021.

MISHAN E.J., *Analisi costi-benefici*, Milano, Etas Libri, 1974.

MANGANELLI B., *Un sistema di equazioni strutturali per la stima di masse di immobili*, Estimo e territorio, 2001, (2).

MARGLIN S.A., *The Social Rate of Discount and the Optimum Rate of Investment*, Quarterly Journal of Economics, 1963, 77(1), pp. 95–111.

ELLEN MACARTHUR, *Completing the picture. How the circular economy tackles Climate Change*, Ellen MacArthur Foundation, Material Economics, 2019.

ELLEN MACARTHUR FOUNDATION, *Towards the circular economy*, Vol. 1: an economic and business rationale for an accelerated transition, 2012.

LEVY D. & SCHUCK E., *The influence of clients on valuations: the clients' perspective*, Journal of Property Investment & Finance, 2005.

MORANO P., *L'analisi di regressione per le valutazioni di ordine estimativo*, Torino, Celid, 2002.

MUNDA G., *Environmental economics, ecological economics, and the concept of sustainable development*, Environmental values, 1997, 6(2), pp. 213–233.

PACE R.K., BARRY R. & SIRMANS C.F., *Spatial statistics and real*

- estate, *The Journal of Real Estate Finance and Economics*, 1998, 17(1), pp. 5–13.
- PEARCE D.W., *Cost-Benefit Analysis*, London, Macmillan, 1971.
- PEARCE D.W. & NASH C.A., *The Social Appraisal of Project*, A text in Cost-Benefit Analysis, London, Macmillan, 1981.
- PEARCE D.W. & ATKINSON G.D., *Capital theory and the measurement of sustainable development: an indicator of “weak” sustainability*, *Ecological economics*, 1993, 8(2), pp. 103–108.
- PIGOU A.C., *The Economics of Welfare*, London, Macmillan 1932.
- PONS-VALLADARES O. & NIKOLIC J., *Sustainable Design, Construction, Refurbishment and Restoration of Architecture: A Review*, *Sustainability*, 2020, 12(22), p. 9741.
- PRIZZON F., *Gli investimenti immobiliari*, Torino, Celid, 1995.
- ROSCCELLI R., *Misurare nell’incertezza*, Torino, Celid, 1990.
- SIMONOTTI M., *La comparazione e il sistema generale di stima*, *Rivista di Economia Agraria*, 1985, 4, pp. 543–561.
- SIMONOTTI M., *La stima immobiliare*, Torino, Utet, (1997).
- Sirchia G., *A proposito di tecniche “appropriate”*, *Atti e Rassegna Tecnica. Società degli Ingegneri e Architetti in Torino*, 1991, 5-6, pp. 330–335.
- SIRCHIA G. (ed.), *La valutazione dei beni culturali*, Roma, Carocci, 2000.
- STIGLITZ J.E., SEN A.K. & FITOUSSI J.P., *Rapport de la Commission sur la mesure des performances économiques et du progrès social*, 2009.
- SUNG K., *A review on upcycling: current body of literature, knowledge gaps and a way forward*, In: *The ICECESS 2015: 17th International Conference on Environmental, Cultural, Economic and Social Sustainability*, Venice, Italy, 13-14 April 2015, p. 201
- THIEBAT F., *Life Cycle Design*, PoliTo Springer Series, 2019.
- WARREN MYERS G., *The value of sustainability in real estate: a review from a valuation perspective*, *Journal of Property Investment & Finance*, 2012, 30(2), pp. 115–144.
- WEISBROD B.A., *Collective-consumption Services of Individual Consumption Goods*, *Quarterly Journal of Economics*, 1964, 78(3), pp. 471–477.
- WILHELMSSON M., *Spatial models in real estate economics, Housing, theory and society*, 2002, 19(2), pp. 92–101.
- UNEP, *Greening the Economy*, Attraverso il life cycle thinking, 2012.
- UNEP, *Towards a Economia Verde - Pathways to Sustainable Development and Poverty Eradication*, 2011.