

Defining Risk Curves in feasibility analyses of urban regeneration projects with Monte Carlo method

Nicholas Fiorentini^{1,*}, Diego Mariotti¹, Massimo Rovai¹

¹ Department of Civil and Industrial Engineering (DICI), The University of Pisa, Largo Lucio Lazzarino, 1, 56122, Pisa, Italy; nicholas.fiorentini@ing.unipi.it; mariotti.diego@gmail.com; massimo.rovai@unipi.it

* corresponding author

Keywords

Monte Carlo method, discounted cash flow analysis, public investments, risk analysis, sensitivity analysis, urban regeneration projects

Abstract

Urban regeneration projects offer numerous community benefits, such as improved housing quality and public spaces, but they also carry risks due to uncertainties in key variables for financial analysis, particularly in Discounted Cash Flow Analysis (DCFA). This research presents a practical tool developed in MS Excel that exploits the Monte Carlo method to quantify the risk of loss of value in these projects. Additionally, innovative Risk Curves are introduced to help investors assess the risks based on specified uncertainties in input variables. Focusing on the urban regeneration of the "Mercato del Carmine" in Lucca (Italy), and following EU project evaluation guidelines, a sensitivity analysis identified critical input variables. The financial sustainability of the project was then assessed using indicators such as Net Present Value (NPV), Internal Rate of Return (IRR), Payback Period (PP), and Productivity Index (PI). The DCFA confirmed the economic viability of the project. Monte Carlo simulations revealed key variables contributing to a significant risk of value loss, with results showing S-shaped Risk Curves. These curves indicate an acceptable tolerance for variations up to 10 percent in inputs related to initial investments, operating costs, and revenues, but show increasing risks with higher variations. This study highlights the value of Monte Carlo simulations in understanding the impact of uncertainty on regeneration project outcomes. The Excel-based tool provides decision-makers with a practical and user-friendly solution for making more informed choices regarding investment risks in urban regeneration projects.

1. Introduction

Urban regeneration projects are important because they can transform blighted, neglected or underutilized areas into spaces characterized by vibrant, economically active and socially cohesive communities (Di Liddo et al., 2020; Yu and Kwon, 2011). Such projects can bring a range of benefits to the community, including improved housing, enhanced public spaces, increased economic activity, job creation, and greater social and cultural opportunities (Della Spina, 2020; Romanelli et al., 2022). In addition to these benefits, urban regeneration can also have positive impacts on the environment, such as the preservation of green spaces, and the promotion of sustainable transport (Corticelli et al., 2022).

At the same time, urban regeneration projects can also pose significant challenges. These

projects often require significant funding, and it can be challenging to find financing from both public and private sources (de Paula et al., 2023; van den Hurk and Tasan-Kok, 2020). Additionally, urban regeneration projects can face resistance from local communities who are concerned about the potential loss of their cultural and social identity, or who may not trust the intentions of the developers (Dell'ovo et al., 2020; Erbey and Erbas, 2017). In such cases, there might be a risk of displacement of existing residents – particularly low-income and marginalized groups – who may not be able to afford to live in the redeveloped area once it is completed. Moreover, urban regeneration projects can be complex, involving multiple stakeholders with varying interests, which can make decision-making and project management challenging.

One of the significant challenges of urban regeneration projects is the risk of not recovering the invested resources (loss of value) if the project does not provide the expected benefits (de Paula et al., 2023; Yu and Kwon, 2011). Loss of value can occur when the costs of the project, including land acquisition, construction, and financing, exceed the economic benefits generated by the project (e.g., increased property values, job creation, and revenue generation). Another risk of loss of value is associated with the level of social acceptability of the project by the local community, for reasons linked to the “induced” transfer of residents and/or the loss of cultural or historical places of identity. In this case, tensions and conflicts can lead to blocks and/or delays in the implementation of the project which, inevitably, lead to a reduction in profitability conducting to a loss of value.

The risk of loss of value can be mitigated by carrying out appropriate and comprehensive sensitivity and risk analyses associated with the traditional financial analysis (DCFA). Performing these analyses can help identify critical variables and provide recommendations for how to mitigate risks, as well as assessing the uncertainty and variability of financial outcomes.

As described by Anelli and Tajani in a recent study (Anelli and Tajani, 2023), risk analysis techniques are numerous and different, both qualitative and quantitative. Readers can refer to this research for a comprehensive summary of the most common and used approaches in academia. It is also important to underline, as the authors themselves do, that although these approaches are theoretically well established, they are limited in practicality since they require incorporating many factors, complex calculations, high mathematical knowledge, and high quality data. Such data is difficult to obtain in the construction industry and, therefore, such difficulties have led experts to base their decisions on personal experience and subjective judgments (Dikmen et al., 2007).

In this sense, one of the leading techniques that address such issues is the Monte Carlo method (Harrison, 2009; Kroese et al., 2014; Loizou and French, 2012). Monte Carlo simulations use a probabilistic approach to model different scenarios that could arise from the variability of input factors, such as initial investment, operating costs, and revenues generated by the project.

Despite powerful and reliable, Monte Carlo method has been exploited rarely in financial and DCFA of urban regeneration projects. Specifically, Napoli et al. (Napoli et al., 2017) exploited Monte Carlo method to perform a Cash Flow Analysis and an analysis of risk and uncertainty to appraise the cost-effectiveness of retrofit actions in public buildings. Moreover, Mangialardo and Micelli (Mangialardo and Micelli, 2017) used Monte Carlo method to perform a discounted cash flow analysis of the grass-roots participation to generate new value in public real estate properties. Finally, in the research of Crisman et al. (Crisman et al., 2018), the authors made use of Monte Carlo method to improve a hierarchical multi-attribute analysis in the field of road safety. In this case, Monte Carlo have been implemented for determining the weights of different evaluation criteria of road safety, in order to provide decision-makers with a robust ranking of safety-related indicators. These three research studies illustrate the benefits of the Monte Carlo method and its essential role in conducting reliable and robust analyses. Moreover, they confirm how Monte Carlo analysis can effectively address uncertainty and risk, providing valuable insights for decision-making in various domains. Furthermore, they highlight the need to use “friendly” tools for public bodies, as well as significant case studies.

This paper endeavors to provide both by presenting a meaningful Italian use case and user-friendly methodologies, contributing to spreading the use of Monte Carlo analysis in the field. The

performed simulations generate multiple scenarios that model different combinations of input factors, which enables decision-makers to identify potential risks and develop strategies to mitigate those risks. In the present paper, Monte Carlo method is used to estimate the expected range of values of Net Present Value (NPV), Internal Rate of Return (IRR), Payback Period (PP), and Productivity (or Profitability) Index (PI) of a urban regeneration project, along with the range of possible values that might arise due to variability and uncertainty of input features of the model.

As said, the Monte Carlo method is a powerful tool for risk analysis, but, at the same time, it presents a high implementation difficulty for public decision-makers, who, in any case, often have to make significant investment decisions. With reference to this last point, this article has developed a user-friendly tool in MS Excel (Microsoft Corporation, 2018). This tool enables to run automatically and intuitively Monte Carlo simulations and autonomously conduct risk analysis, without requiring specialized statistical software or training.

The methodology of the present paper is also centered on the development of "Risk Curves of Loss of Value", which are a novel assessment graphical metric in the field of risk analysis. These curves enable public administrations to understand the amount of uncertainty in expected initial costs, operating costs, and loss in revenues, and defining their acceptability level. Addressing and quantify uncertainty is crucial in DCFA since it enables decision-makers to understand the degree of tolerable error in choosing the expected values to be used as input to the analyzes. Uncertainty has been discussed in the research of Mallinson and French (Mallinson and French, 2000), where the authors state: *"[...] uncertainty is a real and universal phenomenon in valuation. The sources of uncertainty are rational and can be identified. They can be described in a practical manner, and, above all, the process of identification and description will greatly assist many clients, and will improve the content and the credibility of the valuer's work"*.

A further well-established probability-based method for addressing uncertainty is the use of the so-called "Crystal Ball", as done by French and Gabrielli (French and Gabrielli, 2004) to quantify uncertainty in the valuation of properties and to enhance discounted cash flow analyses (French and Gabrielli, 2005). It is worth mentioning that Monte Carlo method has been used to address uncertainty also by Loizou and French (Loizou and French, 2012), where the authors investigated the appropriateness of exploiting such probabilistic method to quantify risk in real estate development. The authors encourage decision-makers to use Monte Carlo method, suggesting that it should be a prescriptive model that enable carrying out detailed sensitivity analysis. By using Monte Carlo method to define a financial strategy in urban development projects, the research of Vetter D. and Vetter M. (Vetter and Vetter, 2019) came to the same conclusions; the authors suggested that Monte Carlo can serve as a heuristic tool that support decision-makers to better understand risks by probability distributions. Finally, the Monte Carlo method was also exploited in the research of Nesticò et al. (Nesticò et al., 2020, 2018), where the authors propose an innovative approach to risk assessment called ALARP (As Low As Reasonably Practicable) specifically defined for the evaluation of the acceptability thresholds of investment risk within traditional costs-benefit analyses. The same authors, once the model inputs, their expected average value and their variability, as well as their distribution have been defined, perform 10,000 Monte Carlo simulations to identify the resulting distributions of NPV and IRR. On these distributions, the tolerability and acceptability thresholds of investment risk are identified.

Therefore, our proposed approach involves a combination of traditional financial analysis and Monte Carlo simulations; the traditional financial analysis assesses the economic viability of the project using metrics such as NPV, IRR, PP, and PI. The Monte Carlo simulations are then used to conduct a risk analysis, quantifying the risk of loss of value and identifying critical variables that could impact the project's financial outcomes. Subsequently, a sensitivity analysis performed according to the EU guidelines (European Commission - Directorate General for Regional and Urban Policy, 2015) for project assessment determines which and how many input variables are critical. Finally, the Risk Curves are defined, which allow the risk assumed by the investor to be quantified once the percentage of uncertainty to be considered in the values of the model's input variables has been specified. The same Risk Curves could also be used inversely. Once the acceptability risk threshold for the investor has been established, it is possible to identify the maximum tolerable

variation of the input items so that there is high certainty that the investment will have a positive return.

The insights gained from this analysis can support decision-makers in making more informed decisions about urban regeneration projects, helping to ensure that the projects deliver the expected benefits while minimizing the risk of loss of value.

2. Study Area: The “Mercato Del Carmine”, City of Lucca, Italy

The Mercato del Carmine in Lucca is a real estate complex composed of two adjacent buildings: the former Church of Santa Maria del Carmine and the former convent of the Discalced Carmelites (Figure 1).



Figure 1. Mercato del Carmine. In red: the former Church of Santa Maria del Carmine. In yellow: the former convent of the Discalced Carmelites (Mariotti D., 2019).

This site is located within the historic center, bordered by Via Antonio Mordini, Traversa S. Gregorio, Piazza del Carmine, and Via S. Gregorio. It occupies a particularly strategic position, midway between Lucca's two main iconic landmarks: the Guinigi Tower and the Amphitheatre Square, while also being in proximity to other notable points of interest, such as Lucca's primary shopping street, Via Fillungo (Figure 2).

The origin of the structure as we know it today dates back to the period between 1372 and 1461 (Albani, 1990), through the efforts of the Discalced Carmelite friars. Initially, they constructed a four-naved Gothic-style church (Bacci, 1997), following the layout of the pre-existing Romanesque church (Baracchini, 1983). Subsequently, they erected the convent with a central cloister.

The religious function of the site was maintained until 1806 when Napoleon Bonaparte suppressed religious orders (Various Authors, 1807). After the unification of Italy in 1866, the property came under the ownership of the municipality of Lucca.

Over the subsequent decades, the building underwent multiple changes in its intended use, transitioning from a place of worship to the headquarters of the Croce Verde, from municipal offices and archives to a school, and finally, during the fascist era, it was decisively transformed into a covered market (Bedini and Fanelli, 1971).

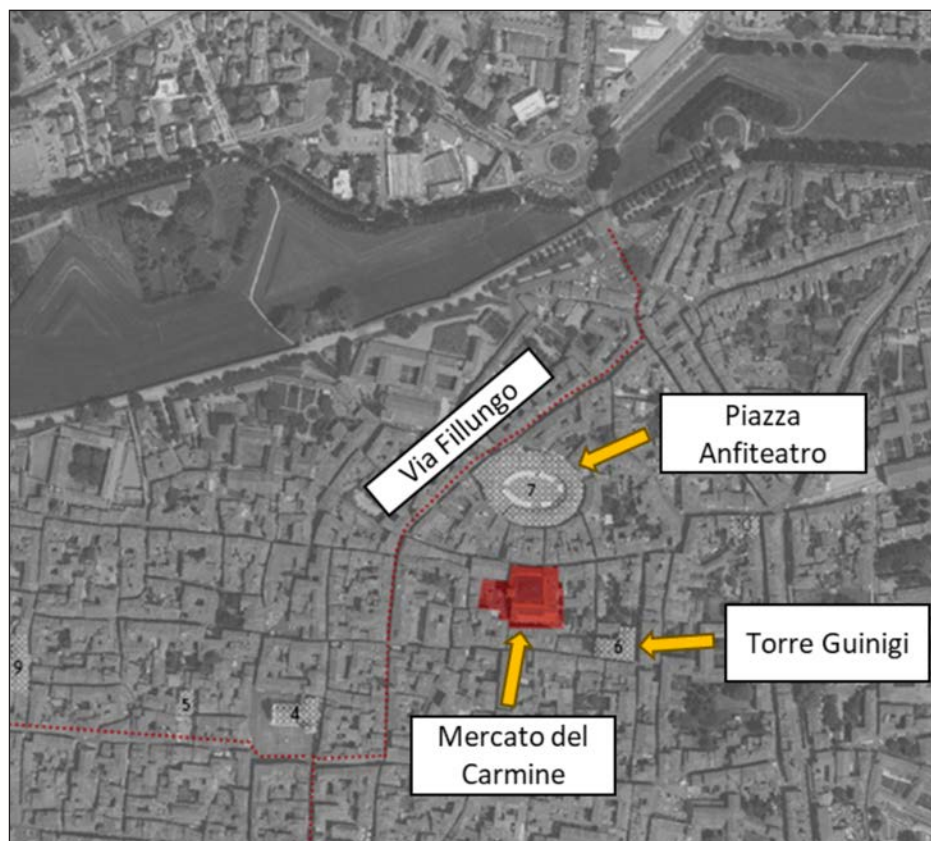


Figure 2. Localization of the Mercato del Carmine (Mariotti D., 2019).

In the years 1930-1932, the Carmine complex underwent a complete conversion for its new purpose. New rationalist-style facades were constructed, the cloister was covered with an asbestos and wood roof, and spaces were created to accommodate 200 stalls for the sale of products. The interior was entirely plastered, erasing any traces of the 14th and 15th-century frescoes, of which only written records remain (Campetti, 1914).

During the late '70s and '80s of the last century, the Mercato del Carmine reached its peak of utilization, becoming the focal point of commerce and life in Lucca. However, subsequently and gradually, it experienced a slow decline due to various factors. Among all, there were the lack of updates to services and functions, the arrival of large, organized retail chains, the depopulation of the historic center, and the relocation of street vendors from Piazza del Carmine to Piazza dell'Anfiteatro and Piazza Scalpellini in 1985.

As of today, the structure is only minimally used, with very few businesses (less than 5, and decreasing) still operating within it, including one bar, one fruit and vegetable shop, one grocery store, and one butcher shop. Over the past twenty years, the Municipal Administration has repeatedly expressed its intention to redevelop the area. Despite substantial investments made to secure parts of the structure, the Mercato del Carmine remains in a state of neglect and marginalization within the urban fabric, failing to attract interest from private stakeholders.

A building like that of the Mercato del Carmine, which occupies a strategically important position in the historic center of the city, and which once served as a cultural and identity reference point for the citizens, deserves to rediscover the splendor and image it possessed in the past.

It is worth underlining that with respect to the regeneration project presented here, in spring 2023, the Municipality of Lucca entrusted the conservative restoration works and the management of the Mercato del Carmine complex to a private company, according to the intended use foreseen by the municipality urban planning.

In our working hypothesis, the project idea (Mariotti D., 2019) for the urban regeneration of

the Mercato del Carmine envisaged creating a new market for zero-kilometer agri-food products and quality catering, adapting it to current demands of the city. The regeneration project (Figure 3) is described in greater detail below.

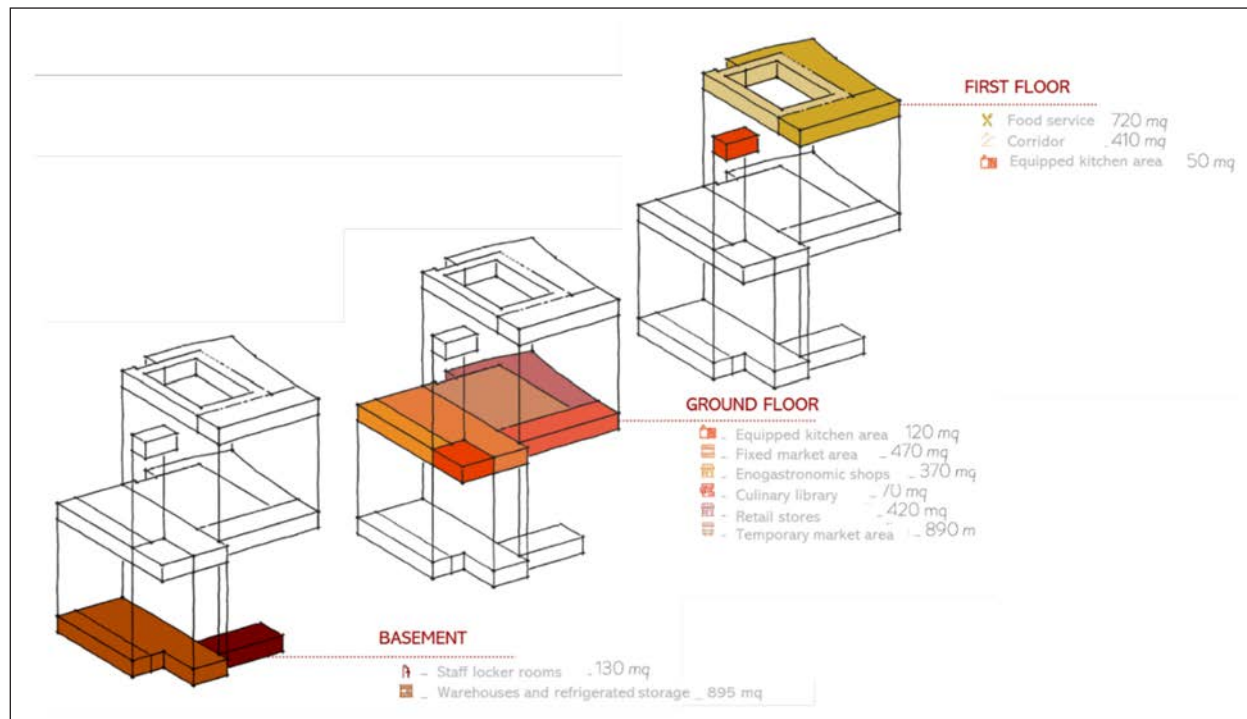


Figure 3. The urban regeneration project of the Mercato del Carmine (Mariotti D., 2019).

In the basement, beneath the church, the decision was made to include storage areas and service spaces for various commercial activities. Under the eastern wing, technical rooms, changing rooms with sanitary facilities, and lockers are situated. These spaces are accessible via a newly constructed elevator located in the middle of the eastern wing or through stairs positioned on the eastern side of the church. Access to these areas is possible from both the rear square and the church itself.

On the ground floor, within the three naves of the church, there are 28 stalls for the market, varying in size and equipped with displays for merchandise. In the fourth nave, further to the south, there are 3 gastronomy-focused businesses, restroom facilities, and an equipped area with tables where visitors can enjoy the food purchased at the market. Lastly, towards the east, in the area of the former fish market, a lofted classroom with various kitchen stations and sanitary facilities have been integrated (taking inspiration from the example of Barcelona's Boqueria market). This space will facilitate cooking classes and culinary activities, adding an educational and interactive dimension to the market's offerings.

Alternatively, the stalls can be rented on a daily or monthly basis by individuals and/or commercial businesses. The cloister of the former convent, in addition to serving as a covered square, acts as the central hub that provides access to all the functions within the entire complex. As mentioned earlier, this flexible and highly versatile space can host various types of activities, including temporary market stalls held twice a week.

In the eastern wing, restroom facilities, a thematic library on gastronomy, a commercial establishment with storage facilities, and vertical connections to reach the upper floor, are located. In the northern wing, the main entrance is situated, along with three artisan shops, a concierge's office, and a bar with associated kitchens that also extends into the western wing, where another shop and vertical connections are located.

The first floor, entirely dedicated to dining and gastronomy, draws inspiration from notable Italian case studies such as the Mercato Centrale in San Lorenzo in Florence, the Logge del Grano in Arezzo, and the M.O.G. in Genoa. This floor accommodates seven establishments, each with their respective seating areas, restroom facilities, and an administrative office.

3. Methodology

The proposed methodology was developed through the following phases:

1. **DCFA** of the urban regeneration project of Mercato del Carmine of Lucca city by computing NPV, IRR, PP, and PI, according to “ordinariness” criteria;
2. **Sensitivity analysis** to identify critical variables. Specifically, we analyzed initial costs, operating costs, and revenues, considering as critical the variables that, varying by 1%, determine a variation in the NPV greater than 1%;
3. **Risk analysis** by running 10,000 simulations with Monte Carlo method to evaluate the robustness of the DCFA and plot distributions of NPV, IRR, PP, and PI;
4. **Identifying the risk of loss of value**, which is the number of times that NPV was less than 0, IRR was less than the fixed discount rate, PP was higher than 30 years, and PI was less than 1;
5. **Developing Risk Curves** by varying initial costs, operating costs, and revenue from 0% to 100%, and running Monte Carlo simulation each time, thus identifying the correlation between the variation in these variables and NPV, IRR, PP, and PI.

Subsections below describe these processing step with greater detail.

3.1. Discounted Cash Flow Analysis

DCFA is an approach used to evaluate the financial feasibility of a project or investment by comparing the total costs of the project to its expected benefits over time, once an appropriate discount rate has been specified. The goal is to determine whether the benefits of the project outweigh its costs and to what extent.

As said, in the present paper, we performed a comprehensive analysis of the urban regeneration project of Mercato del Carmine, quantifying four common metrics: NPV, IRR, PP, and PI.

NPV is the present value of future cash inflows minus the present value of future cash outflows, discounted at a specified rate. A positive NPV indicates that the project is expected to generate a profit greater than that at the discount rate, while a negative NPV indicates that the project is not economically feasible. NPV is computed as in Equation 1 below:

$$NPV = \sum_{t=1}^n \frac{CF_t}{(1+r)^n} - C_0 \quad (1)$$

Where CF_t refers to the cash flows expected for each t-period (year), r is the discount rate, n is the time period in which the cash flow occurs expressed in years, and C_0 is the initial investment (year 0)

The formula calculates the present value of all cash inflows and outflows associated with an investment, discounted by the required rate of return, and then subtracts the initial cost of the investment.

IRR is the discount rate that makes the present value of the project's cash inflows equal to the present value of its cash outflows. It represents the objective rate of return of the project and is commonly used to compare investment opportunities. IRR is computed as in Equation 2 below:

$$\sum_{t=1}^n \frac{CF_t}{(1+IRR)^n} - C_0 = 0 \quad (2)$$

The formula calculates the discount rate that makes the present value of all cash inflows and outflows associated with an investment equal to zero. In other words, it finds the rate of return at which the NPV of the investment is zero. This rate is the IRR.

To find the IRR, we need to solve Equation 2 using numerical methods or by using specialized software. In MS Excel, for instance, the SOLVER tool allows computing the IRR; through this tool it is possible to ask the MS Excel software to identify the value of the IRR so that the difference between the two terms on the left of Equation 2 provides a result equal to zero (i.e., a constraint is placed on the result of the equation, allowing the IRR parameter to vary freely).

PP is the amount of time it takes for the project's cash inflows to equal its cash outflows, without considering financial aspects. It represents the time required for the project to break even and start generating a profit, i.e., it is the length of time required for an investment to recover its initial cost through the cash inflows generated by the investment. PP is computed as in Equation 3 below:

$$PP = C_0 / AACI \quad (3)$$

Where $AACI$ is the Average Annual Cash Inflows.

The formula calculates the number of years required for an investment to generate cash inflows that are sufficient to recover its initial cost. The PP is often used as a measure of an investment's risk, with shorter PP indicating lower risk.

It is worth noting that PP does not consider the time value of money, therefore it is often considered a relatively simple but, at the same time, formally incorrect empirical method for evaluating investments compared to other methods, such as the NPV or the TRI.

Finally, PI is the ratio of the project's present value of future cash inflows to the present value of its cash outflows. A PI greater than 1 indicates that the project is expected to generate a profit, while a PI less than 1 indicates that the project is not economically feasible. PI is computed as in Equation 4 below:

$$PI = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{CF_i}{(1+r)^i}}{C_0} \quad (4)$$

Such four metrics are commonly used in financial analysis to evaluate the feasibility of an investment and to compare different alternatives.

3.2. Sensitivity Analysis

The sensitivity analysis (Table 3) was performed according to EU guidelines for project assessment (European Commission - Directorate General for Regional and Urban Policy, 2015), and it involved varying the values of input variables of the model (Table 1).

By varying the values of these variables, it is possible to determine which variables have the greatest impact on the outcomes of the DCFA (Equations 1-4), identifying threshold values beyond which the investment's risk of loss of value would increase significantly.

Therefore, the aim is to identify two threshold values for the input variables in the model. The first threshold illustrates the percentage change in NPV concerning a 1% increase or decrease in the input parameters. If the resulting NPV change exceeds +1% or falls below -1%, the analyzed input variable should be classified as critical. The second threshold indicates the value of the input variable that would result in a 1% change in NPV.

This enables the analyst to determine the significance of the variables and, consequently, focus its utmost attention on estimating the expected values of critical variables. These threshold values serve as crucial tools in sensitivity analysis, allowing for the identification of influential factors that can substantially impact the financial outcomes of the urban regeneration project.

3.3. Risk Analysis: Monte Carlo method and Risk Curves

In the framework of this research, Monte Carlo simulations were used to evaluate the robustness of the DCFA by admitting a maximum variation of initial costs, operating costs, and

revenues, of a percentage equal to 10% (range of $\pm 10\%$) of their estimated value (i.e., by assigning a standard deviation of 10% of their expected values).

Such a 10% variation constitutes our assumption and should be considered an appropriate example in the absence of certain data; in a real application, the analyst should certainly acquire more information, especially on the possible uncertainty of initial and management costs. Nonetheless, it is worth underlining that in the subsequent definition of the Risk Curves, a variation of the input items ranging from 0% to 100% was hypothesized, to certainly cover the real variation of the chosen input items and verify, consequently, the impact that these variations would have on the NPV, IRR, PP, and PI indicators.

Furthermore, it is important to highlight that the model input features (Table 1) were assumed to follow a normal distribution; this assumption arises from the fact that, for this specific application, it was possible to estimate the average value of the model inputs, but not their minimum and maximum value, which would also have allowed the adoption of a different distribution, such as the triangular one (Nesticò et al., 2020, 2018). Furthermore, the triangular distribution is advisable in cases where the variation compared to the average value of the input item is not significant; in the present case study, being able to assume even important variations, it is preferable to use the normal distribution. The simulations were performed 10,000 times to create descriptive statistics (mean and standard deviation, minimum and maximum values, skewness and kurtosis) and distributions of NPV, IRR, PP, and PI.

Therefore, the Monte Carlo method provides valuable additional information compared to a “static” DCFA, thanks to (1) the quantification of the standard deviation of these parameters, (2) the quantification of their minimum and maximum achievable values, and (3) the quantification of skewness and kurtosis of their resulting distributions. Accordingly, the following aspects can be detected, providing further insights into the DCFA:

- **Standard Deviation:** the Monte Carlo simulations highlight the spread or variability in the values of NPV, PP, IRR, and PI, indicating their degree of uncertainty associated with the input parameters. A higher standard deviation suggests greater potential risk or variability in the project outcomes;
- **Range of Values:** by considering the minimum and maximum values obtained from the Monte Carlo simulations, the analysis provides insights into the potential best and worst-case scenarios for the project metrics, aiding in risk assessment and decision-making;
- **Skewness and kurtosis:** these statistical measures offer information about the shape and characteristics of the probability distributions. Positive or negative skewness indicates whether the distribution is skewed to the right or left, while kurtosis reflects the degree of “flatness” of the distribution.

Subsequently, by still using Monte Carlo method, we were able to assess the probabilities of the so-called “risk of loss of value” of the investment, i.e., to identify the number of times (respect to the 10,000 simulations) that:

- NPV was negative;
- IRR was less than the fixed discount rate (i.e., less than 3%);
- PP was higher than 30 years;
- PI was less than 1.

Subsequently, Monte Carlo simulations were also used to determine the Risk Curves of Loss of Value. Such curves are graph plots which relates the degree of uncertainty if input values (i.e., the admitted percentage variation respect to the average value) with the risk of loss of value (i.e., the probability of having not acceptable NPV, IRR, PP, and PI).

For such purpose, as said, it has been assigned a degree of uncertainty (percentage variation respect to the average value) of input variables of the model from 0% to 100%; subsequently, the

correlation between these variations and the resulting percentage variations in NPV, IRR, PP, and PI, has been identified. To obtain maximum robustness of the analysis, the process has been repeated five times per each percentage variation and, subsequently, an average value of risk of loss of value has been computed.

These Risk Curves provide public administrations with a clear understanding of the uncertainty level to accept in expected initial costs, expected operating costs, and expected revenues, for an economically sustainable investment. In other words, it is possible to identify the maximum permissible percentage of error in estimating the values of the input variables so that an investment still has a specified probability of being economically sustainable.

Furthermore, due to the specific shape that the Risk Curves assume (see Chapter 5), the percentage of variation is also identified beyond which even minimal variations in the estimate of the input items of the DCFA analysis entail large probabilities of risk in the investment.

4. Data

The phase of cost estimation has been divided into costs for construction (initial investment costs) and annual operating costs. The analysis of construction costs (costs to bring the structure to a rough state, costs for compliance with accessibility and fire regulations, and costs for intended use) should follow the provisions outlined in the Article 22 of Legislative Decree 207/2010 (Decreto del Presidente della Repubblica, 2010): *“The preliminary calculation of the costs is conducted by applying parametric prices derived from standardized costs determined by the Observatory to the characteristic quantities of the construction works or activities. In cases where standardized costs are not available, parametric values are derived from similar completed projects. Alternatively, an estimated metric computation is prepared based on approximated values”*.

Currently, the Observatory for Public Works does not provide the standardized costs as required by the aforementioned law. Therefore, a synthetic estimation based on parametric analysis has been chosen, referencing parameters derived from similar interventions or projects by public administrations, organizations, and institutions. Specifically, the following contributions have been considered:

1. Public Parametric Costs: Data from the “Parametric Costs of the Regional Public Works Price List” from the Tuscany Region and those from the Province of Lucca were analyzed (Tuscany Region, 2021);
2. DEI Price List, 2020: Informative prices for construction, recovery, renovation, and maintenance (DEI Tipografia del Genio Civile, 2020);
3. Actual Costs of Similar Interventions: Synthetic Comparative Estimation, Comparison of Costs for Similar Constructions such as the data from the estimated metric computations of 2016 for the interventions carried out on the Carmine complex (Church and East Wing provided by the Municipality of Lucca).

After defining the costs based on the sources cited above, it was decided to use a weighted average cost by combining various types of work processes. These include: investigative studies and seismic vulnerability assessment, site safety measures and construction site setup, removal of systems, cladding, and furnishings, demolition of walls, suspended ceilings, plasterwork, and floors, structural strengthening works, concrete works, steel works, installation of systems, thermal and acoustic insulation works, roof-related interventions, roofing and metalwork, and exterior fixtures.

The cost estimates for bringing the structure to a rough state were performed. Subsequently, technical expenses (10%), safety charges (8%), and precautionary contingencies (10%) were added as percentages of the overall projected costs (Roscelli, 2014).

As for the annual operating costs (AOC), which represent the costs incurred by the owner for the maintenance of the building, they have been empirically calculated as a statistical percentage incidence of the gross annual income (GAI). Since actual data from companies managing similar real estate assets were not available, this empirical approach is used to estimate these costs. The cost items considered for the AOC include:

- Replenishment, 3%;
- Extraordinary maintenance, 6%;
- Insurance, 3%;
- Services, 2,5%;
- Administration and surveillance, 2%;
- Vacancy and uncollectibility, 5%;
- Taxes, 35%;
- Passive interests, 1,5%.

The GAI has been determined through a synthetic estimation procedure, involving a market study of lease agreements for buildings with characteristics and intended uses equivalent to those assumed in the project phase for the Mercato del Carmine within the city of Lucca.

These estimated values, reported per square meter, have been compared with average rental values from the OMI (Observatory of the Real Estate Market) database of the Italian Agenzia per le Entrate and other indirect sources (e.g., Immobiliare.it, Idealista, and Borsino Immobiliare), in order to evaluate their coherence/admissibility.

For certain market segments where direct rental rate information was not available, “asking prices” (rental listings) were used, adjusted by a 10% reduction to account for potential negotiation discounts. Subsequently, the average annual net income (net revenue) was derived using Equation 5 below:

$$\text{Net Income} = \text{GAI} - \text{AOC} \quad (5)$$

Table 1 provides an overview of the expected costs and revenue items considered for the DCFA, sensitivity analysis, and risk analysis.

Table 1. Costs of construction, annual operating costs, and annual rental revenues

Costs of Construction	Expected
Costs to bring the structure to a rough state	2,535,959.00 €
Compliance with accessibility and fire regulation	819,273.00 €
Costs for intended use	2,373,780.00 €
Total Renovation Costs	5,729,012.00 €

Annual Operating Costs	Expected
Replenishment	24,387.87 €
Extraordinary and ordinary maintenance	48,775.73 €
Insurance	24,387.87 €
Services	20,323.22 €
Administration and surveillance	16,258.58 €
Vacancy and uncollectibility	40,646.44 €
Taxes	284,525.09 €
Passive interests	12,193.93 €
Total Annual Operating Costs	471,498.73 €

Follow **Table 1**. Costs of construction, annual operating costs, and annual rental revenues

Annual Rental Revenues	Expected
Warehouses	52,800.00 €
Bar	20,613.60 €
Commercial establishments	142,122.60 €
Fixed market stalls	90,469.44 €
Mobile market stalls	180,000.00 €
Equipped kitchen area	38,400.00 €
Restaurants	180,523.20 €
Rental of covered square for events	108,000.00 €
Total Annual revenues	812,928.84 €

Specifically, in addition to the ordinary terms of Table 1, it is worth introducing the meaning of the following ones:

1. **Costs to bring the structure to a rough state:** They refers to a stage of progress in the construction of a building where the exterior is completed. This includes the installation of windows and doors, any internal or external staircases, the application of external insulation, finishing with plaster and paint, and the preparation for electrical and hidraulic systems;
2. **Costs for compliance with accessibility and fire regulations:** Architectural barriers are defined as any construction element that hinders, limits, or makes it difficult for people, especially those with limited mobility, to move around or access services. Therefore, in accordance with Article 3 of Decreto del Ministero dei Lavori Pubblici n.236 del 14 giugno 1989 (Ministero dei Lavori Pubblici, 1989), costs have been considered to ensure a level of interior accessibility that allows both the public and service personnel to use the building (such as ramps, elevators, stairlifts, adequately sized bathrooms, etc.). Fire safety design identifies technical solutions aimed at achieving primary fire prevention objectives, including the safety of human life, the well-being of individuals, the protection of property, and the environment. The cost estimation for fire safety compliance has been conducted by categorizing the building based on the level of fire risk, following relevant regulations of Ministerial Decree 569/1992 (Ministero per i Beni Culturali e Ambientali, 1992)). After creating a preliminary design, various cost items have been computed to ensure compliance with fire safety regulations. These cost items include emergency exits, fire escape stairs, fire protection system, fire extinguishers, smoke detectors, alarms, and signage.
3. **Costs for intended use:** This involves assessing the costs required to complete the work necessary to adapt the building to its new intended use, derived through a synthetic-comparative estimate. It includes the following cost items: Construction site setup, demolitions, consolidation works, masonry works, electrical and hydraulic systems, building finishes, fixtures, furniture, technical expenses, safety costs, contingencies.

5. Results and Discussion

5.1. The tool developed in MS Excel

As previously described, in this research a practical operating tool has been developed to be used in MS Excel, which presents characteristics of ease of use, maximum transparency in calculations and flexibility in analysis.

Indeed, in addition to a “user-friendly” interface that guides the analyst during all phases of the analysis (from data entry to the visualization of the final results), it is possible to view/modify the analytical relations used by the Excel software and the SOLVER tool (e.g., the Equations 1-4 previously proposed) to conduct the DCFA, sensitivity and risk analysis, and also model different risk scenarios thanks to a personalized introduction of the degree (and type) of uncertainty of the input parameters.

Below, the functionality of the developed tool is explained in five different operating phases. The leading Excel commands used, and the main calculations performed by the tool are mentioned.

PHASE 1 – input data entry: firstly, the analyst enters the cost and revenue items to be used for the scenario to be simulated. The expected mean value must be entered (as in Table 1) and the expected percentage of variation with respect to this mean value, i.e. the uncertainty in the estimate of the mean value. In addition, the uncertainty in the estimation is modeled as a function of the distribution (normal, triangular, random, binomial, etc.) of the values of each item. Each cost or revenue item may therefore have a different degree of uncertainty and distribution.

In the proposed case study, having been developed for demonstration purposes - and not having detailed information on the input items available - the cost and revenue items were considered with an uncertainty of 10% compared to the expected average value and with a normal distribution. We have previously discussed the reason why, in this specific context, the normal distribution is preferable to the others. The tool, based on the information provided by the analyst, considering the expected mean value, calculates the standard deviation of the distribution of each input item.

As additional input items, the analyst specifies the desired discount rate and the time period considered for the investment, which can therefore vary from scenario to scenario; In this case, as previously specified, the discount rate is 3% and the duration of the investment is 30 years.

PHASE 2 – Discounted Cash Flow Analysis: once all the input items have been defined, the tool performs the DCFA analysis, providing the cost and revenue items (for each year of analysis), the annual cash flow (year after year), the annual NPV (for each year of analysis), and the cumulative NPV (year after year). The tool then calculates the cumulative NPV also according to the Excel formula called “NPV”, and compares that the value obtained is equal to that of the cumulative NPV (calculated analytically through Equation 1).

Subsequently, the tool calculates the PP parameter through the Excel command “INTERCEPT”, the IRR parameter through the command “IRR” and the PI parameter through Equation 4.

The DCFA analysis conducted is therefore “static”, i.e., it provides punctual and unambiguous results of the NPV, PP, IRR, and PI parameters, once the input data and their maximum permissible variation have been specified. However, given the uncertainty assigned to the input parameters and given the same input parameters, each simulation leads to slightly different results. Therefore, although the analysis is static, by carrying out multiple simulations, the analyst can verify whether similar or different values of the parameters are obtained in the DCFA analysis. This allows for an initial check on the robustness of the investment through a traditional DCFA analysis.

PHASE 3 – Sensitivity analysis: Regarding the sensitivity analysis, in accordance with the guidelines for evaluating financing for European projects (European Commission - Directorate General for Regional and Urban Policy, 2015), the MS Excel tool allows for the quantification of two threshold values for each input variable of the model, as specified in subsection 3.2.

The first threshold illustrates the percentage change in the NPV parameter concerning a 1% increase or decrease in input parameters. If the resulting variation in NPV exceeds +1% or falls below -1%, the analyzed variable should be classified as critical.

The second threshold, like the first one, illustrates the value of the input variable that leads to a 1% change in the NPV parameter. This allows for the quantification of the criticality level in monetary terms for each input item. Consequently, the analyst can determine the level of reliability to be pursued in estimating the various input variables.

The developed tool first conducts a static DCFA analysis as for PHASE 2, but without introducing uncertainty in the input items. Therefore, it runs three different DFCA again. The first proposes a 1% increase in initial investment costs, the second proposes a 1% increase in annual

management costs, while the third proposes a 1% decrease in annual revenues. For each of the three different DCFA, the tool calculates the percentage variation of NPV, PP, IRR, and PI compared to the “base” DCFA analysis conducted initially and, therefore, identifies the two thresholds previously indicated for the three scenarios.

PHASE 4 – Risk Analysis with Monte Carlo Method: the tool then proposes the risk analysis with the Monte Carlo method. Therefore, once the probability distributions of individual input variables have been specified and their expected values and standard deviations have been established, a total of 10,000 simulations are conducted to obtain a distributions of the parameters NPV, IRR, PP, and PI. The number of total simulations can also be changed by the analyst within the developed tool. It has been seen, however, that after 1,000 simulations the results are stable and, therefore, in the framework of the present research, 10,000 simulations are enough to guarantee robust and reliable results.

The tool therefore performs 10,000 DCFA analyses, modifying the input items each time, considering that they can vary depending on the uncertainty and the specified distribution. The NPV, PP, IRR, and PI parameters are calculated for each simulation and finally aggregated in a summary table, which reports the main descriptive statistics of the four parameters themselves: mean and standard deviation, minimum and maximum, skewness and kurtosis, and risk level, i.e. the probability of loss of value (probability in the 10,000 simulations of obtaining a negative NPV, a PP greater than 30 years, a IRR less than 3%, and an PI less than 1).

The descriptive statistics provide useful insights into the distribution of financial metrics for the investment being investigated. The mean and standard deviation indicate the central tendency and variability of the data, respectively, while the minimum and maximum values provide insights into the potential range of outcomes. The skewness and kurtosis provide information about the shape of the distribution, evaluating how it may differ from a normal one. The risk of loss of value indicates the potential risk of the investments.

At the end of the risk analysis with the Monte Carlo method, the tool proposes the distributions (in graphic format) of the NPV, PP, IRR and PI parameters, in order to provide an immediately readable tool for the analyst and for any stakeholders interested in the investment.

PHASE 5 – Risk Curves of Loss of Value: the tool concludes the investment analysis through the automatic plotting of the Risk Curves. As anticipated, such Risk Curves are graphs that relate the degree of uncertainty of the inputs (i.e. the percentage variation allowed with respect to the expected average value) with the Risk of loss of value (i.e. the probability that the parameters NPV, IRR, PP and PI are not acceptable).

The Risk Curves allow to quantify the risk assumed by the investor once the percentage of uncertainty to be considered in the values of the model input variables has been specified. Their graphical computation follows what is specified in paragraph 3.3.

5.2. Leading outcomes of the developed tool

Table 2 reports the traditional (or “static”) DCFA, i.e., such a procedure where, after specifying a fixed discount rate, expected costs and expected revenues (those in Table 1), their admitted percentage variation and distributions, provides unique values of NPV, IRR, PP, and PI.

The DCFA analysis is conducted automatically by the tool following the previously introduced Equations 1-4. Table 2 therefore represents the first of the outputs of the developed tool.

Table 2. “Static” Discounted Cash Flow Analysis

Net Present Value (NPV)	963,169 €
Payback Period (PP)	23.55 Years
Internal Rate of Return (IRR)	4.25%
Productivity Index (PI)	1.17

Based on DCFA summarized in Table 2, the urban regeneration project of the Mercato del Carmine has a positive NPV of 963,169 €, which indicates that the investment generates more value than its costs. The PP of 23.55 years suggests that the project would take significantly less time than 30 years (that we supposed) to recoup its initial investment. Moreover, the IRR of 4.25% and PI of 1.17 both suggest that the investment has a positive rate of return (with respect to the risk parameters defined in subsection 3.3)

Accordingly, these findings would suggest that the urban regeneration of the Mercato del Carmine di Lucca appears to be financially sustainable. However, as previously discussed, the static analysis may not capture all of the risks and uncertainties associated with a long-term project as the present one; therefore, with the use of the developed MS Excel tool, a sensitivity and risk analyses have been performed.

Below, we present the thresholds for the Mercato del Carmine use case for assessing such thresholds in initial investment costs, annual operating costs, and expected annual revenues. The following Table 3 displays the two threshold values for the three input variables. Table 3 represents the second of the outputs of the developed tool.

Table 3. Threshold values: effects on NPV of the 1% increase in initial costs and operating costs and the 1% decrease in revenues

Costs of Construction	
First Threshold	-2.63 %
Second Threshold	9,631.69 €
Annual Operating Costs	
First Threshold	-5.79 %
Second Threshold	491.40 €
Annual Rental Revenues	
First Threshold	-3.66 %
Second Threshold	491.40 €

Table 3 highlights that annual operating costs and annual revenues are more critical than initial investment costs. Indeed, a 1% increase in annual operating costs or a 1% decrease in annual revenues result in a 5.79% decrease or a 3.66% decrease in NPV, respectively, whereas a 1% increase in initial investment costs leads to a 2.63% decrease in NPV.

The second threshold shows the monetary value of the input items beyond which the value of the NPV parameter is greater than 1%: in investment costs, this variation is reached with an increase in costs of € 9,623.69; for annual management costs the threshold is € 491.40 and for revenues the threshold is -€ 491.40.

Following the DCFA and sensitivity analysis, using the developed tool we proceeded with the risk analysis using the Monte Carlo method.

Table 4 below provides descriptive statistics of distributions of NPV, IRR, PP, and PI. Figures 4-7 show the plots of such distributions. Both Table 4 and Figures 4-7 have been automatically provided by the MS Excel tool defined within the framework of the present research. Accordingly, Table 4 and Figures 4-7 represent the third and fourth outcomes of the developed tool.

As a general consideration, we can observe that the mean values of the Monte Carlo simulations for NPV, PP, IRR, and PI are nearly identical to the values obtained through the “static” DCFA (Table 2). This fact confirms that, after 10,000 simulations, the output parameters considered exhibit a robust degree of stability; despite potential fluctuations, they tend to cluster around

mean values that align with those expected values derived from a “static” DCFA. A similar finding can be identified in the research of French and Gabrielli (French and Gabrielli, 2005), where the author exploited Cristal Ball to address uncertainty in discounted cash flow analyses. Indeed, the authors state: *“the outcome of introducing uncertainty in the inputs is to produce a range of different answers. The central tendency of this distribution is very close to the single point estimate of the static model, yet the user of the technique now benefits from an understanding of the upside and downside risk pertaining to his single point estimate”*.

Tabella 4. Statistiche descrittive delle distribuzioni dei parametri VAN, TRI, TR, e IR dopo 10,000 simulazioni Monte Carlo

Parameter	NPV	PP	IRR	PI
Mean	964,161 €	23.56	4.28%	1.17
St. Dev.	421,253 €	1.85	0.60%	0.08
Minimum	-376,563 €	18.48	2.57%	0.95
Maximum	2,164,816 €	29.40	6.15%	1.43
Skewness	-0.13	0.19	0.11	0.19
Kurtosis	-0.14	-0.12	-0.12	-0.10
Risk of Loss of Value	1.40%	0.00%	1.40%	1.40%

Specifically, considering the outcomes of Table 4, we can derive the following considerations:

NPV: The NPV average is €964,161 with a standard deviation of €421,253. The minimum value of the NPV (- € 376,563) indicates possible negative outcomes of the investment while the maximum of € 2,164,816 indicates very positive potential performance. The data is slightly negatively skewed (skewness equal to -0.13) and has a relatively flat distribution (kurtosis equal to -0.14) compared to a normal one. As stated before, negative skewness for a normal distribution means that the distribution has more data points on the right side of the mean and fewer data points on the left side of the mean. Therefore, in the case of the NPV, a negative skewness is a positive aspect since the number of simulations with NPV > average NPV (on the left) is higher than the simulations resulting in an NPV < average NPV (on the right).

Moreover, a negative kurtosis indicates that the distribution is flatter than a normal one. On the one hand, it means that there are fewer extreme values that could significantly impact the outcome of the investment. This can be an advantage for risk-averse investors, who prefer to benefit from greater uniformity in the level of investment returns, so that it is as predictable and safe as possible. On the other hand, a flat distribution may also mean that there is less potential for high returns. This is because the distribution is less likely to contain extreme values that could significantly increase the NPV.

The risk of loss of value i.e. the number of times (as a percentage) a negative NPV has been obtained, is 1.40%, indicating a very high probability that a positive investment will be achieved. In fact, there are 9,860 out of 10,000 simulations that are economically sustainable from the point of view of the NPV. Figure 4 reports the NPV distribution.

IRR: The mean IRR is 4.28%, with a standard deviation of 0.60%. The minimum IRR is 2.57%, and the maximum is 6.15%. The data is slightly positively skewed (skewness=0.11), indicating that the majority of projects have a lower IRR than the mean. The kurtosis is -0.12, indicating that the distribution is relatively flat. The risk of loss of value is 1.40%, equal to the risk of loss of value of the NPV, logically indicating a linear relation between NPV and IRR. Figure 5 reports the IRR distribution.

PP: The mean PP is 23.56, with a standard deviation of 1.85. The minimum PP is 18.48, and the maximum PP is 29.40. The data is positively skewed (skewness=0.19), indicating that the majority

of projects have a longer PP than the mean. The kurtosis is -0.12, indicating that the distribution is relatively flat. The risk of loss of value is 0.00%. Therefore, after running 10,000 simulations, there is no cases where the resulting PP is higher than 30 years. Figure 6 reports the PP distribution.

PI: The mean PI is 1.17, with a standard deviation of 0.08. The minimum PI is 0.95, and the maximum is 1.43. The data is slightly positively skewed (skewness=0.19), indicating that the majority of projects have a lower PI than the mean. The kurtosis is -0.10, indicating that the distribution is relatively flat. The risk of loss of value is 1.40%; it is equal to the risk of loss of value of both the NPV and PI, indicating a linear relation between PI and such parameters. Figure 7 reports the PI distribution.

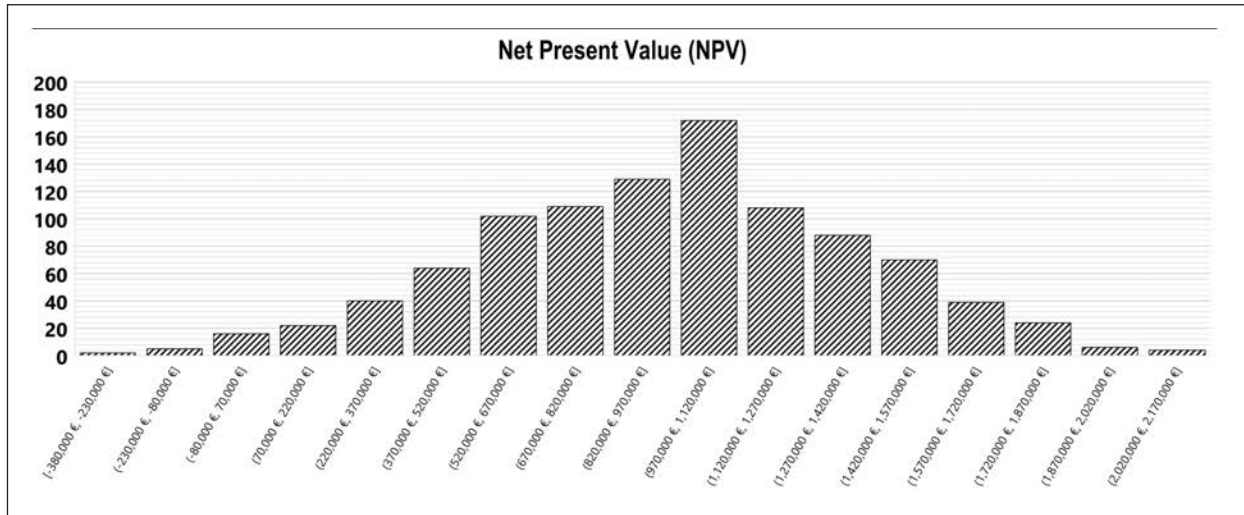


Figure 4. Net Present Value distribution after 10,000 Monte Carlo simulations.

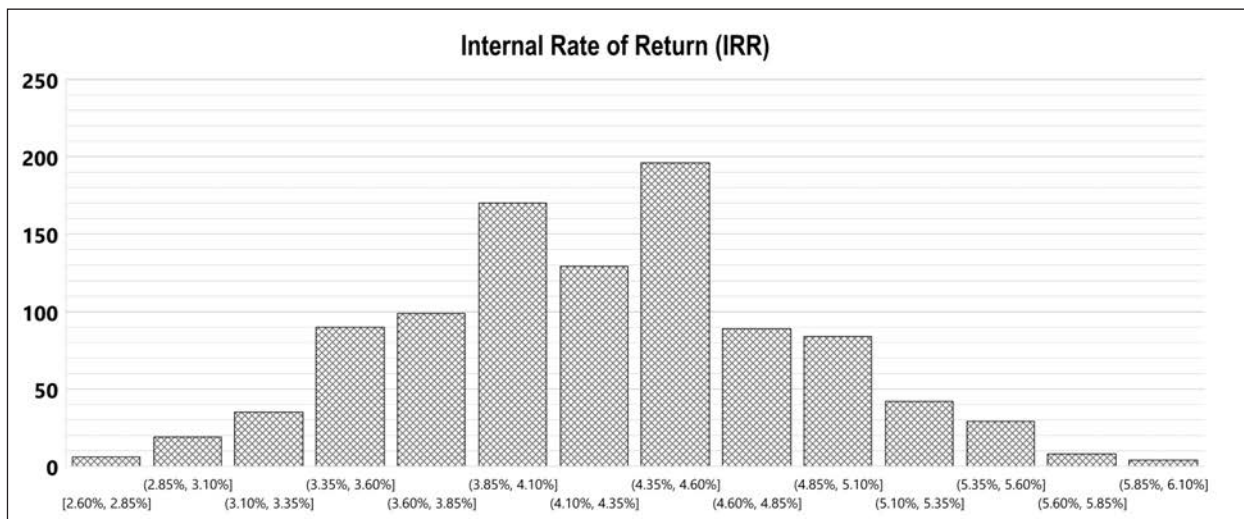


Figure 5. Internal Rate of Return distribution after 10,000 Monte Carlo simulations.

It is evident from the Figures 4-7 that the graphs exhibit a bell-shaped curve. This outcome was expected based on the Central Limit Theorem, which states that the sum (or average) of a large number of independent random variables is approximately normal, regardless of the distribution of the individual variables.

In Figure 4, it can be seen that the NPV exhibits a well-defined peak at around 1M euros, demonstrating that the probability of obtaining a NPV greater than zero is significantly high.

Moreover, in Figure 5, it can be observed that for the IRR, there are two distinct peaks: one around 4% and another close to 4.5%. This demonstrates that a significant number of simulations of are likely to result in IRR values near these two peaks. As indicated in Table 4, the mean of the distribution is located approximately midway between these two values.

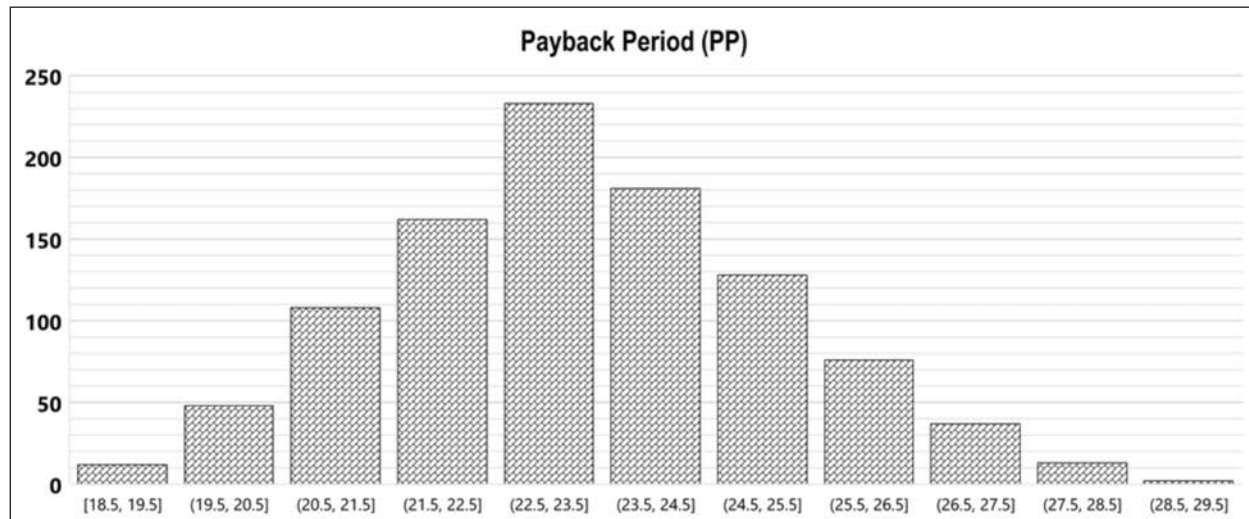


Figure 6. Payback Period distribution after 10,000 Monte Carlo simulations.

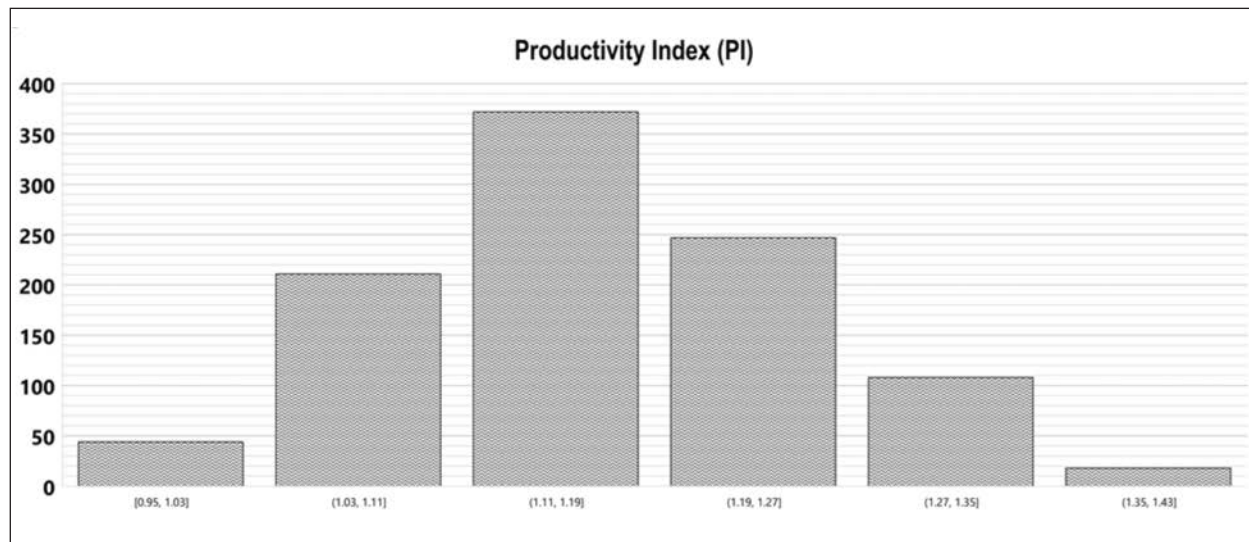


Figure 7. Productivity Index distribution after 10,000 Monte Carlo simulations.

As discussed in the methodology section, following the sensitivity and risk analyses, this research wrap up with the plotting of the Risk Curves, which is carried out within the MS Excel tool. Risk Curves represent the fifth and last outcome of the developed tool. Figure 8 reports the plot of such curves. The black curve represents the risk curve for the NPV, IRR, and PI parameters (which are similar for the three parameters, as they are linearly dependent), while the grey curve represents the risk curve for the PP parameter.

Both curves exhibit an S-shape and, moreover, it is observed a difference between the black curve and the grey curve. This aspect allows affirming that the risk of loss of value is higher for the NPV, IRR, and PI parameters compared to the PP parameter. Therefore, the PP parameter remains more stable and less sensible to the variability of the input features.

Also, the curves demonstrate an essential aspect; up to a 10% variation in input variables, there is basically no risk of loss (risk of loss of value is approximately 0%). Therefore, if the error made by the analyst in estimating the expected inputs values (i.e., those values reported in Table 1) falls within this 10% range, it can be highly likely (or basically certainty) that the outcomes of the “static” DCFA are also reliable, and that the variability of financial metrics is tolerable and has no influence on the overall evaluation of the investment.

However, if the variation exceeds 10%, the Risk Curves exhibit a “knee,” which rapidly leads to high probabilities of loss of value. For the PP parameter, the risk remains within 5% up to

variations of 20% in input values. For the NPV, IRR, and PI parameters, on the other hand, the risk increases to 10% within the same percentage variations.

From Figure 8 it is possible to observe that the risk of loss of value continues to increase with diminishing intensity as the percentage variation increases, reaching a “plateau” at approximately an 80% variation. This final value, although theoretical, demonstrates that there is a maximum limit to the risk of loss of value of approximately 32-33% for the PP parameter and approximately 40% for the NPV, IRR, and PI parameters, if the error committed in estimating the values of input features is extremely high.

Furthermore, the Risk Curves can also be used “indirectly” to identify the level of the unacceptability of the risk of loss of value: for example, according to the Risk Curves for this specific case (Figure 8), if we would consider unacceptable a risk above a certain threshold, for instance of 20%, the variation in the input variables should remain within 30%. Therefore, if the analyst acknowledges operating in conditions of strong randomness in the input variables due to market turbulence - both on the cost and revenue perspectives - that could make it possible that this threshold will be exceeded, then it would be appropriate not to proceed in investment.

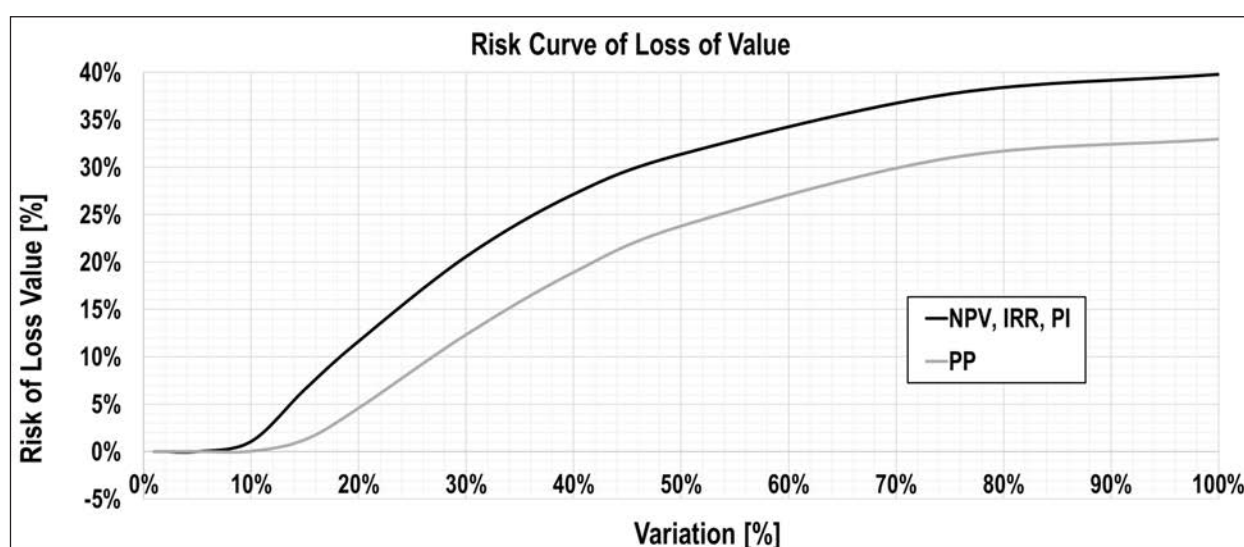


Figure 8. Risk Curves of Loss of Value; black curve refers to NPV, IRR, and PI parameters, grey curve refers to PP parameter.

6. Conclusions

Urban regeneration projects can provide significant benefits to communities, such as improved housing, increased economic activity, and a higher quality of public spaces capable of guaranteeing better sociability and promoting social cohesion. However, these projects may also involve a high level of financial risk in their implementation which must be appropriately assessed.

To address these risks – thanks to the development of a practical tool within MS Excel – the paper explored Monte Carlo simulations to quantify the risk of loss of value in urban regeneration projects, developing the so-called Risk Curves of Loss of Value, a novel approach in the field of risk analysis.

The methodology involves a combination of traditional DCFA and Monte Carlo simulations, demonstrating that it is possible to support public (or even private) decision makers so that they can make more informed and less risky decisions in urban regeneration projects. The development of Risk Curves also provides a valuable tool for assessing and managing risk, enabling decision-makers to better understand the trade-offs between uncertainty and investment potential.

The use case of the Mercato del Carmine regeneration project in Lucca, Tuscany Region, Italy, demonstrates the importance of careful consideration of critical variables such as increased initial costs, increased operating costs, and potential reduction of revenues. The outcomes show that a

10% variation in these variables can be accepted without significant impact on the of the investment. However, higher variations may suddenly increase the risk of loss of value, highlighting the need for careful estimation of these critical variables.

In conclusion, the paper provides valuable insights into the DCFA, sensitivity analysis, and risk analysis of urban regeneration projects, highlighting the importance of Monte Carlo simulations and Risk Curves in managing investment risk. The tool developed on MS Excel also provides simple, transparent, flexible, and effective operational support for public administrations, which will be able to evaluate the risk of investment projects by combining the Monte Carlo simulation model and Risk Curves with the traditional DCFA.

Author Contributions

Conceptualization: N.F., M.R.; Data Curation: N.F., D.M.; Formal Analysis: N.F.; Investigation: N.F.; Methodology: N.F., M.R.; Resources: N.F., M.R.; Software: N.F.; Validation: N.F.; Visualization: N.F., D.M.; Writing—original draft preparation: N.F., D.M.; Writing—review and editing: N.F., M.R.; Supervision: M.R.

Bibliography

- Albani D. (1990). *Saggio di morfologia urbana*. S. Marco Litotipo, Lucca.
- Anelli D. & Tajani F. (2023). Spatial decision support systems for effective ex-ante risk evaluation: An innovative model for improving the real estate redevelopment processes. *Land Use Policy*, 128, Article 106595. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2023.106595>
- Bacci M. (1997). *Le antiche lapidi della Chiesa del Carmine*. In *L'Aldilà* (pp. 19–45). Lucca.
- Baracchini C. (1983). *Il secolo di Castruccio Castracani: Fonti e documenti di storia lucchese*. Maria Pacini Fazzi Editore, Lucca.
- Bedini G. & Fanelli, G (1971). *Lucca: Spazio e tempo dall'Ottocento a oggi*. Maria Pacini Fazzi Editore, Lucca.
- Campetti P. (1914). *Lucca nel 1913. Illustrazione commerciale, industriale, artistica della città con numerosi clichés di edifici antichi e modernissimi*. Lucca.
- Corticelli R., Pazzini M., Mazzoli C., Lantieri C., Ferrante A. & Vignali V. (2022). Urban regeneration and soft mobility: The case study of the Rimini Canal Port in Italy. *Sustainability*, 14(21), 14529. <https://doi.org/10.3390/su142114529>
- Crisman B., Martellos L. & Rosato P. (2018). Evaluating actions to improve the safety of urban provincial roads: A hierarchical multi-attribute approach. *Valori e Valutazioni*, 20, 41–46.
- de Paula P.V., Marques R.C. & Gonçalves J.M. (2023). Public-private partnerships in urban regeneration projects: A review. *Journal of Urban Planning and Development*, 149(1). <https://doi.org/10.1061/jupddm.upeng-4144>
- Decreto del Presidente della Repubblica. (2010). *Regolamento di esecuzione ed attuazione del decreto legislativo 12 aprile 2006, n. 163, recante «Codice dei contratti pubblici relativi a lavori, servizi e forniture in attuazione delle direttive 2004/17/CE e 2004/18/CE»*.
- DEI Tipografia del Genio Civile. (2020). *Prezzi informativi dell'edilizia. Recupero, ristrutturazione, manutenzione, secondo semestre 2020*.
- Della Spina L. (2020). Revitalization of inner and marginal areas: A multi-criteria decision aid approach for shared development strategies. *Valori e Valutazioni*, 2020, 25, 33–34.
- Dell'Ovo M., Bassani S., Stefanina G. & Oppio A. (2020). Memories at risk: How to support decisions about abandoned industrial heritage regeneration. *Valori e Valutazioni*, 2020, 24, 107–115.
- Di Liddo F., Morano P., Tajan F. & Torre C.M. (2020). An innovative methodological approach for the analysis of the effects of urban interventions on property prices. *Valori e Valutazioni*, 2020, 26, 25–49.
- Dikmen I., Birgonul M.T. & Han S. (2007). Using fuzzy risk assessment to rate cost overrun risk in international construction projects. *International Journal of Project Management*, 25 (5), 494–505. <https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2006.12.002>
- Erbey D. & Erbas A.E. (2017). The challenges of spatial continuity in urban regeneration projects: The case of Fener Balat historical district in Istanbul. *International Journal of Sustainable Development*

- and Planning, 12 (3), 498-507. <https://doi.org/10.2495/SDP-V12-N3-498-507>
- European Commission - Directorate General for Regional and Urban Policy. (2015). *Guide to cost-benefit analysis of investment projects: Economic appraisal tool for Cohesion Policy 2014-2020*. European Commission, Directorate-General for Regional and Urban Policy.
- French N. & Gabrielli L. (2005). Discounted cash flow: Accounting for uncertainty. *Journal of Property Investment and Finance*, 23(1), 75-89. <https://doi.org/10.1108/14635780510575102>
- French N. & Gabrielli L. (2004). The uncertainty of valuation. *Journal of Property Investment & Finance*, 22(6), 484-500. <https://doi.org/10.1108/14635780410569470>
- Harrison R.L. (2009). Introduction to Monte Carlo simulation. *AIP Conference Proceedings*, 1204(1), 17-21. <https://doi.org/10.1063/1.3295638>
- Kroese D.P., Brereton T., Taimre T. & Botev Z.I. (2014). Why the Monte Carlo method is so important today. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Computational Statistics*, 6(6), 386-392. <https://doi.org/10.1002/wics.1314>
- Loizou P. & French N. (2012). Risk and uncertainty in development: A critical evaluation of using the Monte Carlo simulation method as a decision tool in real estate development projects. *Journal of Property Investment and Finance*, 30(2), 198-210. <https://doi.org/10.1108/14635781211206922>
- Mallinson M. & French N. (2000). Uncertainty in property valuation: The nature and relevance of uncertainty and how it might be measured and reported. *Journal of Property Investment & Finance*, 18(1), 1463-578.
- Mangialardo A. & Micelli E. (2017). The grass roots participation creates new value? Simulation models for bottom-up enhancement processes of public real-estate properties. *Valori e Valutazioni*, 19, 41-52.
- Mariotti D. (2019). *La riqualificazione economica del Mercato del Carmine a Lucca: proposte progettuali e studio di fattibilità* (MSc. thesis). University of Pisa, Italy, Pisa.
- Microsoft Corporation. (2018). *Microsoft Excel*.
- Ministero dei Lavori Pubblici. (1989). *Decreto Ministeriale 14 giugno 1989, n. 236: Prescrizioni tecniche necessarie a garantire l'accessibilità, l'adattabilità e la visitabilità degli edifici privati e di edilizia residenziale pubblica sovvenzionata e agevolata, ai fini del superamento e dell'eliminazione delle barriere architettoniche*.
- Ministero per i Beni Culturali e Ambientali. (1992). *Decreto 20 maggio 1992, n. 569: Regolamento contenente norme di sicurezza antincendio per gli edifici storici e artistici destinati a musei, gallerie, esposizioni e mostre*.
- Napoli G., Gabrielli L. & Barbaro S. (2017). The efficiency of the incentives for the public buildings energy retrofit: The case of the Italian regions of the "objective convergence." *Valori e Valutazioni*, 18, 25-39.
- Nesticò A., He S., De Mare G., Benintendi R. & Maselli G. (2018). The ALARP principle in the cost-benefit analysis for the acceptability of investment risk. *Sustainability*, 10(12), 4668. <https://doi.org/10.3390/su10124668>
- Nesticò A., Macchiaroli M. & Maselli G. (2020). An innovative risk assessment approach in projects for the enhancement of small towns. *Valori e Valutazioni*, 25, 91-98.
- Romanelli M., Ferrara M., Metallo C., Reina R., Varriale L., Ventura M., Vesperi W. & Buonocore F. (2022). Advancing urban regeneration projects for sustainable development and intellectual capital. In *Proceedings of the European Conference on Knowledge Management, ECKM*, 1002-1009. <https://doi.org/10.34190/eckm.23.2.543>
- Roscelli R. (2014). *Manuale di estimo*. UTET, Novara.
- Tuscany Region. (2021). *Prezzario regionale dei lavori pubblici*.
- van den Hurk M. & Tasan-Kok T. (2020). Contractual arrangements and entrepreneurial governance: Flexibility and leeway in urban regeneration projects. *Urban Studies*, 57(16), 3217-3235. <https://doi.org/10.1177/0042098019894277>
- Vetter D.M. & Vetter M. (2019). Monte Carlo simulation in a financial strategy for urban development using land value capture. *Journal of Property Investment and Finance*, 37(4), 405-415. <https://doi.org/10.1108/JPIF-03-2019-0032>
- VV.AA. (1807). *Bollettino ufficiale delle leggi e decreti del Principato Lucchese*. Lucca.
- Yu J.H. & Kwon H.R. (2011). Critical success factors for urban regeneration projects in Korea. *International Journal of Project Management*, 29(7), 889-899. <https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2010.09.001>

Definizione delle Curve di Rischio nelle analisi di fattibilità dei progetti di rigenerazione urbana con il metodo Monte Carlo

Nicholas Fiorentini^{1,*}, Diego Mariotti¹, Massimo Rovai¹

¹ Dipartimento di Ingegneria Civile e Industriale (DICI), University di Pisa, Largo Lucio Lazzarino, 1, 56122, Pisa, Italy; nicholas.fiorentini@ing.unipi.it; mariotti.diego@gmail.com; massimo.rovai@unipi.it

* corresponding author

Parole chiave

metodo Monte Carlo, analisi finanziaria, Discounted Cash Flow Analysis, investimenti pubblici, analisi di rischio, analisi di sensibilità

Abstract

I progetti di rigenerazione urbana offrono numerosi benefici alla comunità, come il miglioramento della qualità abitativa e degli spazi pubblici, ma comportano anche rischi legati alle incertezze in alcune variabili chiave per l'Analisi dei Flussi di Cassa Attualizzati (DCFA). Questa ricerca presenta uno strumento sviluppato su MS Excel che sfrutta il metodo Monte Carlo per quantificare il rischio di perdita di valore in tali progetti. Inoltre, vengono introdotte innovative Curve di Rischio per supportare gli investitori nella valutazione dei rischi basandosi sulle incertezze specificate nelle variabili di input. Concentrandosi sul progetto di rigenerazione del "Mercato del Carmine" di Lucca, un'analisi di sensibilità ha identificato le variabili di input critiche. La sostenibilità economica del progetto è stata valutata utilizzando indicatori come il Valore Attuale Netto (VAN), il Tasso di Rendimento Interno (TRI), il Tempo di Ritorno (TR) e l'Indice di Redditività (IR). Le simulazioni Monte Carlo hanno rivelato le variabili chiave che contribuiscono a un rischio significativo di perdita di valore, con risultati che mostrano Curve di Rischio a forma di "S". Queste curve indicano una tolleranza accettabile per variazioni fino al 10 per cento negli input legati agli investimenti iniziali, ai costi operativi e ai ricavi, ma evidenziano rischi crescenti con variazioni più elevate. Lo studio sottolinea l'importanza delle simulazioni Monte Carlo per comprendere l'impatto dell'incertezza sugli esiti dei progetti di rigenerazione. Lo strumento sviluppato offre ai decisori una soluzione pratica e di facile utilizzo per fare scelte più consapevoli riguardo ai rischi di investimento nei progetti di rigenerazione urbana.

1. Introduzione

I progetti di rigenerazione urbana sono fondamentali poiché possono trasformare aree degradate, trascurate o sottoutilizzate in spazi caratterizzati da comunità vibranti, economicamente attive e socialmente coese (Di Liddo et al., 2020; Yu e Kwon, 2011). Tali progetti possono apportare una serie di vantaggi alla comunità, tra cui un miglioramento della qualità abitativa, la valorizzazione degli spazi pubblici per sviluppare relazioni sociali, un aumento delle attività economiche, la creazione di posti di lavoro e maggiori opportunità sociali e culturali (Della Spina, 2020; Romanelli et al., 2022). Inoltre, oltre a questi benefici, la rigenerazione urbana può avere impatti positivi sull'ambiente, come la preservazione degli spazi verdi e la promozione di modalità di trasporto sostenibile (Corticelli et al., 2022).

Al tempo stesso, i progetti di rigenerazione urbana pongono sfide significative. Questi progetti spesso richiedono finanziamenti considerevoli, ed è difficile trovare risorse da parte di fonti sia pubbliche che private (de Paula et al., 2023; van den Hurk e Tasan-Kok, 2020). Inoltre, i progetti di rigenerazione urbana possono incontrare resistenza da parte delle comunità locali preoccupate per la potenziale perdita della loro identità culturale e sociale o che non si fidano delle intenzioni dei promotori (Dell'Ovo et al., 2020; Erbey e Erbas, 2017). In taluni casi, può nascere il rischio di spostamento dei residenti esistenti - in particolare dei gruppi a basso reddito e emarginati - che potrebbero non essere più in grado di permettersi di vivere nell'area ristrutturata una volta completata. Inoltre, nei casi di progetti di rigenerazione urbana complessi, la tipologia di stakeholders coinvolti e con interessi diversi è molto elevata e questo può rendere difficili le decisioni da assumere e la gestione dell'intero iter progettuale.

Una delle sfide significative dei progetti di rigenerazione urbana è il rischio di non recuperare le risorse investite (perdita di valore) se il progetto non fornisce i benefici attesi (de Paula et al., 2023; Yu e Kwon, 2011). La perdita di valore può verificarsi quando i costi della progettazione, compresa l'acquisizione di terreni, la costruzione e le spese di gestione, superano i benefici economici generati (es. l'incremento dei valori immobiliari, la creazione di posti di lavoro, la generazione di entrate). Un altro rischio di perdita di valore è associato al livello di accettabilità sociale del progetto da parte della comunità locale, per motivi legati al trasferimento "indotto" di residenti e/o alla perdita di luoghi identitari culturali o storici. In questo caso, infatti, le tensioni e i conflitti possono portare a blocchi e/o ritardi nella realizzazione del progetto che, inevitabilmente, determinano una riduzione della redditività fino ad arrivare, appunto, ad una perdita di valore.

Il rischio di perdita di valore può essere mitigato mediante l'esecuzione di opportune e comprensive analisi di sensibilità e di rischio associate alla classica analisi finanziaria DCFA. L'adozione di questo mix di analisi può aiutare a individuare le variabili critiche e fornire raccomandazioni su come mitigare i rischi, nonché quantificare l'incertezza dei risultati.

Come descritto da Anelli e Tajani in un recente studio (Anelli e Tajani, 2023), le tecniche di analisi del rischio sono numerose e differenti, sia qualitative che quantitative. I lettori possono far riferimento a tale ricerca per un comprensivo riassunto delle più comuni ed utilizzate nell'ambito della ricerca e dell'accademia. È inoltre importante sottolineare, come anche gli stessi autori fanno, che sebbene questi approcci siano teoricamente ben consolidati, sono limitati nella praticità perché richiedono di incorporare molti fattori, calcoli complessi, elevate conoscenze matematiche e dati di grande qualità. Tali dati sono difficili da ottenere nel settore delle costruzioni e, pertanto, le difficoltà hanno portato gli esperti a basare le loro decisioni sull'esperienza personale e sui giudizi soggettivi (Dikmen et al., 2007).

In tal senso, una delle tecniche più utilizzate è il metodo Monte Carlo (Harrison, 2009; Kroese et al., 2014; Loizou e French, 2012). Le simulazioni Monte Carlo utilizzano un approccio probabilistico per modellare diverse situazioni che potrebbero derivare dalla variabilità dei fattori di input, come l'investimento iniziale, i costi di gestione e le entrate generate dal progetto.

Nonostante sia potente e affidabile, il metodo Monte Carlo è stato raramente utilizzato nelle DCFA per i progetti di rigenerazione urbana. In particolare, Napoli et al. (Napoli et al., 2017) hanno utilizzato il metodo Monte Carlo per eseguire un'analisi dei flussi di cassa ed un'analisi di rischio e incertezza per valutare l'efficacia di interventi di retrofit in edifici pubblici. Mangialardo e Micelli (Mangialardo e Micelli, 2017) hanno utilizzato il metodo Monte Carlo per eseguire un'analisi dei flussi di cassa relativi alla partecipazione dei cittadini nella creazione di nuovi valori in proprietà immobiliari pubbliche. Infine, nella ricerca di Crisman et al. (Crisman et al., 2018), gli autori hanno fatto uso del metodo Monte Carlo per migliorare un'analisi multi-attributo gerarchica nel campo della sicurezza stradale. In questo caso, il Monte Carlo è stato implementato per determinare i pesi dei diversi criteri di valutazione della sicurezza stradale, al fine di fornire ai decisori una classificazione robusta degli indicatori legati alla sicurezza. Questi tre studi di ricerca illustrano i vantaggi del metodo Monte Carlo e il suo ruolo essenziale nell'effettuare analisi affidabili e robuste. Confermano, inoltre, come l'analisi Monte Carlo possa efficacemente affrontare l'incertezza e il rischio, fornendo preziose intuizioni per la presa di decisioni in vari settori. Inoltre, mettono in evidenza la necessità di utilizzare strumenti "friendly" per gli enti pubblici, così come casi di studio significativi.

Questo articolo propone di fornire entrambi, presentando un significativo caso di studio italiano ed utilizzando metodologie user-friendly, contribuendo alla diffusione dell'uso dell'analisi Monte Carlo nel settore. Le simulazioni condotte generano molteplici scenari che modellano diverse combinazioni di fattori di input, consentendo ai decisori di individuare i potenziali rischi e sviluppare strategie per mitigarli. Nel presente articolo, il metodo Monte Carlo viene utilizzato per stimare l'intervallo dei valori che potrebbero assumere il Valore Attuale Netto (VAN) atteso, il Tasso di Rendimento Interno (TRI), il Tempo di Ritorno (TR) e l'Indice di Redditività (IR) di un progetto di rigenerazione urbana, a causa della variabilità delle voci di input.

Come già detto, il metodo Monte Carlo è uno strumento potente per l'analisi del rischio, ma, al tempo stesso, presenta una difficoltà di implementazione elevata per decisori pubblici, i quali, ad ogni modo, devono spesso assumere decisioni di investimento rilevanti. Con riferimento a quest'ultimo punto, il presente articolo ha sviluppato uno strumento user-friendly in MS Excel (Microsoft Corporation, 2018) per utilizzare il metodo Monte Carlo. Questo strumento consente di eseguire in maniera automatizzata ed intuitiva le simulazioni Monte Carlo e condurre l'analisi del rischio autonomamente senza la necessità di ricorrere a software statistici specializzati o ad una formazione specifica.

La metodologia del presente articolo si concentra anche sullo sviluppo delle "Curve di Rischio della Perdita di Valore", le quali rappresentano una nuova metrica grafica di valutazione nel campo dell'analisi del rischio. Queste curve consentono alle amministrazioni pubbliche di comprendere l'entità dell'incertezza nei costi iniziali previsti, nei costi operativi e nelle entrate e definire il loro livello di accettabilità. Affrontare e quantificare l'incertezza è cruciale nelle DCFA, poiché consente ai decisori di comprendere il grado di errore tollerabile nella scelta dei valori attesi da utilizzare come input nelle analisi. L'incertezza è stata discussa nella ricerca di Mallinson e French (Mallinson e French, 2000), dove gli autori affermano: *"[...] L'incertezza è un fenomeno reale e universale nella valutazione. Le fonti di incertezza sono razionali e possono essere identificate. Possono essere descritti in modo pratico e, soprattutto, il processo di identificazione e descrizione sarà di grande aiuto a molti investitori e migliorerà il contenuto e la credibilità del lavoro del valutatore"* (traduzione degli autori).

Un ulteriore metodo basato sulla probabilità ben consolidato per affrontare l'incertezza è l'uso delle cosiddette "Crystal Ball", come fatto da French e Gabrielli (French e Gabrielli, 2004) per quantificare l'incertezza nella valutazione delle proprietà e migliorare le analisi del flusso di cassa (French e Gabrielli, 2005). È importante sottolineare che il metodo Monte Carlo è stato utilizzato per affrontare l'incertezza anche da Loizou e French (Loizou e French, 2012), dove gli autori hanno indagato sull'appropriatezza di tale metodo probabilistico per quantificare il rischio nello sviluppo immobiliare. Gli autori incoraggiano i decisori a utilizzare il metodo Monte Carlo, suggerendo che dovrebbe essere un metodo prescrittivo, dal momento che consente di condurre analisi di sensibilità dettagliate. Utilizzando il metodo Monte Carlo per definire una strategia finanziaria nei progetti di sviluppo urbano, la ricerca di Vetter D. e Vetter M. (Vetter e Vetter, 2019) è giunta alle stesse conclusioni; gli autori hanno suggerito che il Monte Carlo può fungere da strumento euristico a supporto dei decisori per comprendere meglio i rischi tramite le distribuzioni di probabilità. Infine, il metodo Monte Carlo è stato sfruttato anche nelle ricerche di Nesticò et al. (Nesticò et al., 2020, 2018), dove gli autori propongono un innovativo approccio alla valutazione del rischio denominato ALARP (As Low As Reasonably Practicable) specificatamente definito per la valutazione delle soglie di accettabilità del rischio di investimento all'interno delle tradizionali analisi costi-benefici. Gli stessi autori, una volta definiti gli input del modello, il loro valore medio atteso e la loro variabilità, così come la loro distribuzione, eseguono 10,000 simulazioni Monte Carlo per identificare le risultanti distribuzioni di VAN e TRI. Su queste distribuzioni, vengono identificate le soglie di tollerabilità e di accettabilità del rischio di investimento.

Pertanto, l'approccio da noi proposto prevede una combinazione di analisi finanziaria tradizionale e simulazioni Monte Carlo; l'analisi finanziaria tradizionale valuta la fattibilità economica del progetto utilizzando metriche come il VAN, il TRI, il TR, e l'IR. Le simulazioni Monte Carlo vengono quindi utilizzate per condurre un'analisi del rischio, quantificando il rischio di perdita di valore e identificando le variabili critiche che potrebbero influenzare gli esiti finanziari del progetto. Successivamente, un'analisi di sensibilità, condotta secondo le linee guida dell'UE (European Commission -

Directorate General for Regional and Urban Policy, 2015) per la valutazione dei progetti, determina quali e quante variabili di input sono critiche. Infine, vengono definite le Curve di Rischio, le quali consentono di quantificare il rischio assunto dall'investitore una volta specificata la percentuale di incertezza da considerare nei valori delle variabili di input del modello. Le stesse Curve di Rischio potrebbero anche essere utilizzate inversamente. Una volta stabilita la soglia di accettabilità del rischio per l'investitore, si può individuare quale sia la massima variazione delle voci di input tollerabile affinché si abbia elevata certezza che l'investimento abbia un ritorno positivo.

I risultati ottenuti da questa analisi possono supportare i decisori nell'effettuare decisioni più informate sui progetti di rigenerazione urbana, contribuendo a garantire che i progetti offrano i benefici attesi minimizzando il rischio di perdita di valore.

2. Area studio: il “Mercato del Carmine”, città di Lucca, Italia

Il Mercato del Carmine di Lucca è un complesso immobiliare composto da due edifici affiancati: l'ex Chiesa di S. Maria del Carmine e dall'ex convento dei Carmelitani Scalzi (Figura 1).



Figura 1. Il Mercato del Carmine. In rosso: l'ex Chiesa di S. Maria del Carmine. In giallo: l'ex convento dei Carmelitani Scalzi (Mariotti D., 2019).

Questo luogo è situato all'interno del centro storico, tra Via Antonio Mordini, Traversa S. Gregorio, Piazza del Carmine e Via S. Gregorio. Esso occupa una posizione particolarmente strategica, a metà strada tra i due principali monumenti iconici di Lucca: Torre Guinigi e Piazza Anfiteatro, ma in prossimità anche di altri notevoli punti di interesse come la principale via dello shopping della città di Lucca, ossia Via Fillungo (Figura 2)

L'origine della struttura come la conosciamo oggi risale al periodo compreso tra il 1372 e il 1461 (Albani, 1990), per opera dei frati Carmelitani Scalzi, che prima edificarono una chiesa a 4 navate in stile gotico (Bacci, 1997) seguendo l'impianto di quella romanica preesistente (Baracchini, 1983) e poi successivamente costruirono il convento con un chiostro centrale.

La funzione religiosa fu mantenuta fino al 1806 quando Napoleone Bonaparte soppresse gli ordini religiosi (Autori Vari, 1807) e, dopo l'unità d'Italia nel 1866, la proprietà passò nelle mani del comune di Lucca.

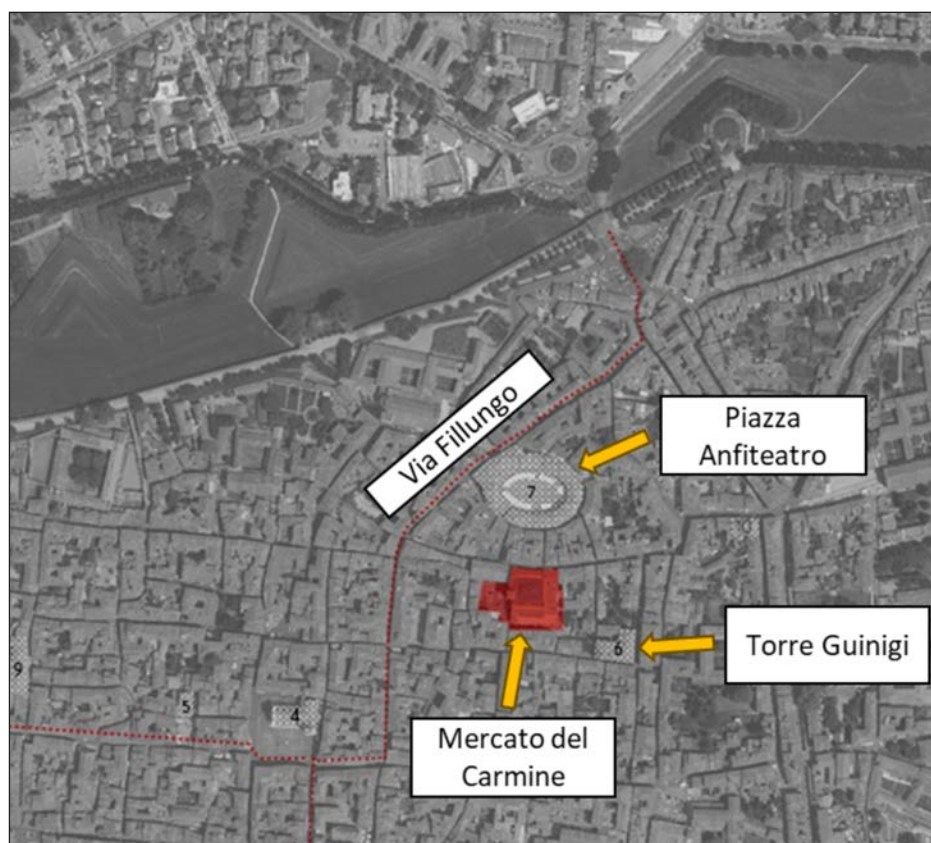


Figura 2. Localizzazione del Mercato del Carmine (Mariotti D., 2019).

Nel corso dei decenni successivi l'immobile cambiò più volte destinazione d'uso, passando da luogo di culto a sede della Croce Verde, da uffici e archivi comunali a scuola ed infine, con l'arrivo del fascismo, si decise di trasformarlo definitivamente a mercato coperto (Bedini e Fanelli, 1971).

Nel 1930-1932 il complesso del Carmine fu completamente riconvertito per la nuova destinazione, vennero create nuove facciate in stile razionalista, fu coperto il chiostro con una copertura in eternit e legno, furono creati gli spazi per ospitare 200 banchi per la vendita di prodotti e l'interno fu completamente intonacato cancellando ogni traccia degli affreschi trecenteschi e quattrocenteschi di cui rimane solamente memoria scritta (Campetti, 1914).

A cavallo degli anni '70 e '80 del secolo scorso raggiunse l'apice di utilizzo diventando il fulcro del commercio e della vita lucchese. Tuttavia, successivamente e lentamente, ha subito il suo lento declino a causa di diversi fattori, primo tra tutti il mancato aggiornamento di servizi e funzioni, l'arrivo della grande distribuzione organizzata, lo spopolamento del centro storico e lo spostamento dell'attività ambulante avvenuto nel 1985 da piazza del Carmine alle piazze Anfiteatro e Scalpellini.

Ad oggi la struttura risulta solo in minima parte utilizzata, pochi fondi (se ne contano meno di 5; in costante calo) sono ancora in gestione a commercianti (1 bar, 1 ortofrutta, 1 alimentari e 1 macelleria). Negli ultimi vent'anni l'Amministrazione Comunale ha più volte espresso la volontà di riqualificare l'area, ma nonostante le ingenti somme investite per mettere in sicurezza parte della struttura, il Mercato del Carmine permane in uno stato di marginalità e di incuria all'interno del tessuto urbano, e non ha destato interesse da parte di soggetti privati.

Un edificio come quello del Mercato del Carmine, che occupa una posizione strategicamente importante nel centro storico della città e che un tempo fungeva da punto di riferimento culturale e identitario per i cittadini, merita di ritrovare lo splendore e l'immagine che possedeva in passato.

E' da sottolineare che rispetto al progetto di rigenerazione qui presentato, nella primavera 2023, il Comune di Lucca ha affidato ad una società privata i lavori di risanamento conservativo e la gestione del complesso del Mercato del Carmine secondo le destinazioni d'uso previste dagli strumenti urbanistici.

Nella nostra ipotesi di lavoro, l'idea progettuale (Mariotti D., 2019) per la rigenerazione urbana del Mercato del Carmine ha previsto di dare vita ad un nuovo mercato per prodotti agroalimentari a chilometro zero e per la ristorazione di qualità adeguandolo alle richieste attuali della città. Il progetto di rigenerazione (Figura 3) è di seguito descritto con maggior dettaglio.

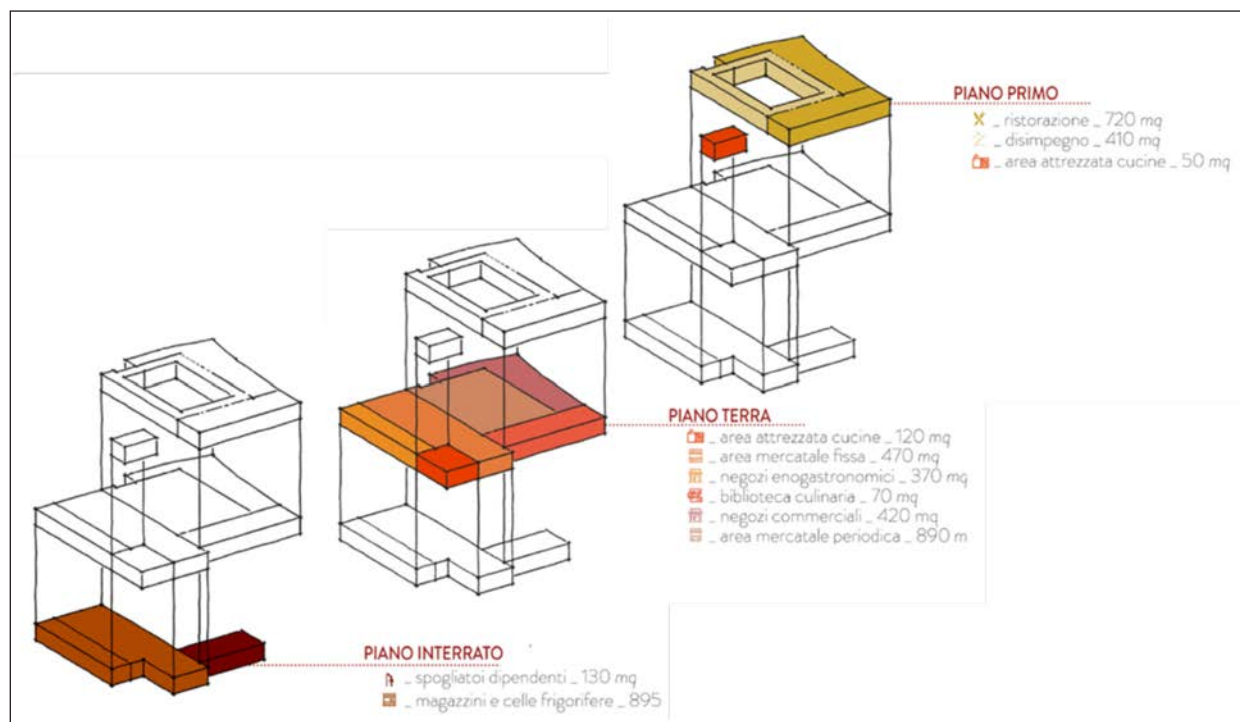


Figura 3. Il progetto di rigenerazione urbana del Mercato del Carmine (Mariotti D., 2019).

Al piano interrato, al di sotto della chiesa, si è scelto di inserire depositi e locali di servizio per le varie attività commerciali, mentre sotto l'ala est si trovano i locali tecnici, gli spogliatoi con servizi igienici ed armadietti. Questi locali sono raggiungibili mediante un ascensore di nuova costruzione posto a metà dell'ala est o per mezzo delle scale situate sul lato est della chiesa, accessibili sia dalla piazza retrostante, sia dalla chiesa stessa.

Al piano terra, nelle tre navate della chiesa, si trovano i 28 banchi del mercato fisso, di dimensioni diverse e con espositori per la merce. Nella quarta navata, più a sud, si trovano 3 esercizi commerciali dedicati alla gastronomia, servizi igienici ed un'area attrezzata di tavoli dove poter gustare il cibo acquistato al mercato. Infine, verso est, nell'area dell'ex pescheria è inserita un'aula soppalcata ed attrezzata di diverse postazioni da cucina e servizi igienici (riprendendo l'esempio della Boqueria di Barcellona). Questo spazio faciliterà corsi di cucina e attività culinarie, aggiungendo una dimensione educativa e interattiva alle offerte del mercato.

In alternativa, le postazioni potranno essere affittate giornalmente o mensilmente a privati e/o attività commerciali. Il chiostro dell'ex convento, oltre ad essere una piazza coperta, è l'elemento distributivo che permette di raggiungere tutte le funzioni presenti nell'intero complesso. Questo spazio flessibile ed altamente versatile, come già detto in precedenza, potrà ospitare vari tipi di attività, tra cui i banchi del mercato temporaneo svolto due volte a settimana.

Nell'ala est sono posizionati i servizi igienici, una biblioteca tematica sulla gastronomia, un esercizio commerciale con deposito ed i collegamenti verticali per raggiungere il piano superiore. Nell'ala nord si trova l'accesso principale, 3 negozi di artigianato, la portineria ed un bar con le relative cucine, le quali coinvolgono anche parte dell'ala ovest, ove sono presenti un altro negozio ed i collegamenti verticali.

Il primo piano, interamente dedicato alla ristorazione e gastronomia, è ispirato ai casi studio italiani del Mercato Centrale di S. Lorenzo a Firenze, delle Logge del Grano ad Arezzo e del M.O.G. a Genova, ed ospita sette locali con le rispettive aree per le consumazioni, diversi servizi igienici ed un ufficio direzionale.

3. Metodologia

La metodologia proposta si è sviluppata attraverso le seguenti fasi:

1. **DCFA** del progetto di rigenerazione urbana del Mercato del Carmine della città di Lucca, calcolando il VAN, il TRI, il TR e l'IR secondo criteri di "ordinarietà".
2. **Analisi di sensibilità** per identificare le variabili critiche. In particolare, abbiamo effettuato l'analisi sui costi iniziali, i costi di gestione e i ricavi considerando critiche le variabili che, variando dell'1%, determinano una variazione nel VAN maggiore dell'1%.
3. **Analisi del rischio** eseguendo 10.000 simulazioni con il metodo Monte Carlo per valutare la solidità della DCFA tracciando le distribuzioni di VAN, TRI, TR e IR.
4. **Identificazione del rischio di perdita di valore**, dato dalla frequenza del VAN inferiore a 0, del TRI inferiore al tasso di attualizzazione ritenuto soddisfacente, del TR superiore a 30 anni, e dell'IR inferiore a 1.
5. **Sviluppo delle Curve di Rischio** facendo variare i costi iniziali, i costi di gestione ed i ricavi dallo 0% al 100%, ed eseguendo la simulazione Monte Carlo di volta in volta, identificando così la correlazione tra la variazione di queste variabili e i parametri VAN, TRI, TR e IR.

Le sottosezioni seguenti descrivono con maggior dettaglio queste fasi operative.

3.1. Analisi Finanziaria (DCFA)

La DCFA è un approccio utilizzato per valutare la fattibilità finanziaria di un progetto o investimento confrontando i costi totali del progetto con i benefici attesi nel tempo, una volta specificato un opportuno tasso di attualizzazione. L'obiettivo è determinare se i benefici del progetto superano i costi e in che misura.

Come anticipato, nel presente articolo, abbiamo condotto un'analisi del progetto di rigenerazione urbana del Mercato del Carmine di Lucca, quantificando quattro parametri: VAN, TRI, TR e IR.

Il VAN è la differenza tra il valore attualizzato delle entrate future ed il valore attualizzato delle uscite future, scontati ad un tasso specificato. Un VAN positivo indica che l'investimento prevede la generazione di un profitto superiore a quello del tasso di attualizzazione, mentre un VAN negativo indica che l'investimento non è economicamente sostenibile. Il VAN è calcolato come nell'Equazione 1 di seguito:

$$VAN = \sum_{t=1}^n \frac{CF_t}{(1+r)^t} - C_0 \quad (1)$$

Dove CF_t rappresenta il flusso di cassa atteso nel periodo (anno) t -esimo, r è il tasso di sconto, n è il periodo temporale in anni durante il quale avviene il flusso di cassa (ossia la durata dell'investimento), e C_0 è l'investimento iniziale (anno 0).

La formula calcola il valore attualizzato di tutti gli ingressi e uscite di cassa associati all'investimento, scontati al tasso di rendimento richiesto, e quindi sottrae il costo iniziale dell'investimento.

Il TRI è il tasso di sconto che rende il valore attualizzato dei flussi di cassa in entrata del progetto uguale al valore attualizzato dei flussi di cassa in uscita. Rappresenta il tasso di rendimento oggettivo del progetto ed è comunemente utilizzato per confrontare opportunità di investimento. Il TRI è calcolato come nell'Equazione 2 di seguito:

$$\sum_{t=1}^n \frac{CF_t}{(1+TRI)^t} - C_0 = 0 \quad (2)$$

La formula calcola il tasso di sconto che rende il valore attualizzato di tutti i flussi di cassa associati a un investimento uguale a zero. In altre parole, trova il tasso di rendimento al quale il VAN dell'investimento è zero. Questo tasso è il TRI.

Per trovare il TRI, è necessario risolvere l'Equazione 2 per via numerica o mediante l'uso di software specializzati. Su MS Excel, ad esempio, è possibile utilizzare il tool RISOLUTORE (in inglese, il

tool è denominato SOLVER); attraverso tale strumento è possibile richiedere al software MS Excel di individuare quale sia il valore del TRI affinché la differenza tra i due termini a sinistra dell'Equazione 2 fornisca un risultato pari a zero (ossia, si pone un vincolo al risultato dell'equazione, consentendo al parametro TRI di variare liberamente).

Il TR è il periodo di tempo necessario affinché i flussi di cassa in entrata del progetto diventino uguali ai flussi di cassa in uscita, senza tener conto degli aspetti finanziari. Rappresenta il tempo necessario affinché il progetto raggiunga il "pareggio", recuperando tutti i flussi in uscita ed inizi a generare dei flussi di cassa positivi, ovvero è la durata necessaria affinché un investimento recuperi il suo costo iniziale attraverso i flussi di cassa generati dall'investimento. Il TR è calcolato come nell'Equazione 3 di seguito:

$$TR = C_0 / AACI \quad (3)$$

Dove $AACI$ è il flusso di cassa annuo medio.

La formula calcola il numero di anni necessari affinché un investimento generi flussi di cassa sufficienti a coprire il suo costo iniziale. Il TR viene spesso utilizzato come misura del rischio di un investimento e, pertanto, più il TR è breve, minore è il rischio dell'operazione.

È importante notare che il TR non tiene conto del valore temporale del denaro, venendo perciò spesso considerato un metodo empirico relativamente semplice ma, al tempo stesso, formalmente errato per la valutazione degli investimenti rispetto ad altri metodi, come il VAN o il TRI.

L'IR, infine, è il rapporto tra il valore attualizzato dei flussi di cassa futuri attesi del progetto e il costo iniziale di investimento. Un IR superiore a 1 indica che si prevede che il progetto generi un profitto, mentre un IR inferiore a 1 indica che il progetto non è economicamente sostenibile. L'IR è calcolato come nell'Equazione 4 di seguito:

$$IR = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{CF_i}{(1+r)^n}}{C_0} \quad (4)$$

Queste quattro metriche sono comunemente utilizzate nell'analisi finanziaria per valutare la convenienza di un investimento e confrontare diverse alternative.

3.2. Analisi di Sensibilità

L'analisi di sensibilità (Tabella 3) è stata condotta secondo le linee guida dell'UE per la valutazione dei progetti (European Commission - Directorate General for Regional and Urban Policy, 2015), e ha previsto la variazione dei valori delle variabili di input del modello (Tabella 1).

Variando i valori di queste variabili, è stato possibile determinare quali variabili hanno il maggiore impatto sulle risultanze della DCFA (Equazioni 1-4), individuando così i valori soglia oltre i quali il rischio di perdita di valore dell'investimento aumenterebbe significativamente.

Dunque, si tratta di identificare, per le voci di input del modello, due valori soglia. La prima soglia mostra la variazione in percentuale del VAN in funzione dell'incremento o del decremento dell'1% dei parametri di input. Se la variazione risultante del VAN è superiore a +1% o inferiore a -1%, si deve classificare la variabile di input analizzata come critica. La seconda soglia mostra il valore della variabile di input che comporterebbe una variazione dell'1% del VAN.

L'analista è dunque in grado di individuare il grado di rilevanza delle variabili e, di conseguenza, di porre la massima attenzione sulla stima dei valori attesi delle variabili critiche. Questi valori soglia sono strumenti cruciali nell'analisi di sensibilità, permettendo di individuare i fattori che possono avere un impatto sostanziale sugli esiti finanziari del progetto di rigenerazione urbana.

3.3. Analisi del Rischio: Metodo Monte Carlo e Curve di Rischio

Nel contesto di questa ricerca, le simulazioni Monte Carlo sono state utilizzate per valutare la robustezza della DCFA, ammettendo una variazione dei costi di investimento iniziali, dei costi di gestione, e delle entrate, di una percentuale pari al 10% (range di $\pm 10\%$) rispetto al loro valore stimato (ossia, assegnando una deviazione standard del 10% rispetto ai loro valori attesi medi).

Questa variazione del 10%, ipotesi degli autori, segue una scelta a titolo esemplificativo ritenuta congrua in mancanza di dati certi; in una applicazione reale, l'analista dovrebbe certamente acquisire maggiori informazioni, soprattutto sulla possibile aleatorietà dei costi iniziali e di gestione. Ad ogni modo, vale la pena sottolineare che nella successiva definizione delle Curve di Rischio, è stata ipotizzata una variazione delle voci di input che va dallo 0% al 100%, in modo da coprire certamente la reale variazione delle voci di input prescelte e verificare, conseguentemente, l'impatto che queste variazioni avrebbero sugli indicatori VAN, TRI, TR, e IR.

Inoltre, è importante sottolineare che è stato ipotizzato che le voci di input del modello (Tabella 1) seguano una distribuzione normale; tale assunzione nasce dal fatto che, per questa specifica applicazione, è stato possibile stimare il valore medio degli input del modello, ma non il loro valore minimo e massimo, i quali avrebbero consentito anche di adottare una distribuzione diversa, come quella di tipo triangolare ((Nesticò et al., 2020, 2018)). Inoltre, la distribuzione triangolare è suggeribile nei casi in cui la variazione rispetto al valore medio della voce di input non sia significativa; nel presente caso di studio, potendo supporre variazioni anche molto importanti, risulta preferibile utilizzare la distribuzione normale. Le simulazioni sono state eseguite 10,000 volte per creare delle statistiche descrittive (media e deviazione standard, minimo e massimo, asimmetria e curtosi) e distribuzioni dei parametri VAN, TRI, TR e IR.

Il metodo Monte Carlo fornisce dunque importanti informazioni aggiuntive rispetto ad una DCFA "statica" grazie alla quantificazione (1) della deviazione standard di questi parametri, (2) del loro valore minimo e massimo ottenibile, (3) della asimmetria e della curtosi delle distribuzioni risultanti. Di conseguenza, possono essere rilevati i seguenti aspetti, che forniscono ulteriori dettagli sulla DCFA:

- **Deviazione standard:** le simulazioni Monte Carlo evidenziano la diffusione o la variabilità nei valori di VAN, TR, TRI e IR, indicando il grado di incertezza associato ai parametri di input. Una deviazione standard più elevata suggerisce un maggiore potenziale rischio o variabilità nei risultati del progetto;
- **Intervallo di valori:** considerando i valori minimi e massimi ottenuti dalle simulazioni Monte Carlo, l'analisi fornisce informazioni sui potenziali scenari migliori e peggiori per le metriche del progetto, contribuendo alla valutazione del rischio e alla presa di decisioni;
- **Asimmetria e curtosi:** queste misure statistiche offrono informazioni sulla forma e sulle caratteristiche delle distribuzioni di probabilità. L'asimmetria positiva o negativa indica se la distribuzione è sbilanciata a destra o a sinistra, mentre la curtosi riflette il grado di "appiattimento" della distribuzione.

Inoltre, utilizzando il metodo Monte Carlo, si sono potute valutare anche le probabilità legate al cosiddetto "rischio di perdita di valore" a seguito dell'investimento, ossia il numero di volte in cui, rispetto alle 10,000 simulazioni:

- il VAN è risultato negativo;
- il TRI è risultato inferiore al tasso di sconto specificato per l'analisi (3%);
- il TR è risultato superiore a 30 anni;
- l'IR è risultato inferiore a 1.

Infine, le simulazioni Monte Carlo sono state utilizzate anche per tracciare le Curve di Rischio della Perdita di Valore. Tali Curve di Rischio sono dei grafici che mettono in relazione il grado di incertezza degli input di ingresso (ossia la variazione percentuale ammessa rispetto al valore medio atteso) con il Rischio della perdita di valore (ossia la probabilità che i parametri VAN, TRI, TR e IR non siano accettabili secondo le quattro condizioni sopra specificate).

A tale scopo, come anticipato, è stato assegnato un grado di incertezza (variazione percentuale rispetto al valore medio atteso) delle variabili di input del modello dallo 0% al 100%; successivamente, è stata identificata la correlazione tra queste variazioni percentuali e le risultanti variazioni percentuali di VAN, TRI, TR e IR. Per ottenere la massima robustezza dell'analisi, il procedimento è stato ri-

petuto cinque volte per ciascuna variazione percentuale e, successivamente, si è effettuato la media delle percentuali di rischio ottenute.

Queste Curve di Rischio forniscono alle amministrazioni pubbliche una chiara informazione sul livello di incertezza che può essere accettato nella stima dei costi iniziali attesi, nei costi di gestione attesi, e nei ricavi attesi, per un investimento economicamente sostenibile. In altre parole, è possibile identificare la percentuale massima di errore ammissibile nella stima dei valori delle variabili di input affinché un investimento abbia comunque una prefissata probabilità di essere economicamente sostenibile.

Inoltre, per la specifica forma che assumono le Curve di Rischio (si veda il Capitolo 5), si individua anche la percentuale di variazione oltre la quale anche minime variazioni nella stima delle voci di input dell'analisi DCFA comportano grandi probabilità di rischio nell'investimento.

4. Dati

La stima sintetica dei costi è stata suddivisa in costi per la riqualificazione del complesso immobiliare (costi di investimento iniziali) e costi annuali di gestione. L'analisi dei costi di riqualificazione (costi per portare la struttura al grezzo, costi per l'adeguamento alla normativa su accessibilità e antincendio e costi per allestimento delle diverse destinazioni d'uso) dovrebbe seguire quanto disposto dall'art. 22 del D.P.R. 207/2010 (Decreto del Presidente della Repubblica, 2010): *“Il calcolo sommario della spesa è effettuato, per quanto concerne le opere o i lavori, applicando alle quantità caratteristiche degli stessi, i corrispondenti prezzi parametrici dedotti dai costi standardizzati determinati dall'Osservatorio. In assenza di costi standardizzati, applicando parametri desunti da interventi similari realizzati, ovvero redigendo un computo metrico estimativo di massima”*.

Attualmente, l'Osservatorio dei Lavori Pubblici non fornisce i costi standardizzati citati dalla suddetta legge. Pertanto, si è optato per una stima sintetica su base parametrica, facendo riferimento a parametri desunti da interventi similari realizzati o studiati da amministrazioni, enti ed istituzioni. Nello specifico si sono valutati i contributi descritti in seguito:

1. Costi parametrici pubblici: sono stati analizzati i dati derivanti dai “Costi parametrici del Prezzario Regionale dei Lavori Pubblici” della Regione Toscana e quelli della Provincia di Lucca (Tuscany Region, 2021);
2. Prezzario DEI ottobre 2020: prezzi informativi dell'edilizia, recupero ristrutturazione manutenzione (DEI Tipografia del Genio Civile, 2020);
3. Costo effettivo di interventi simili: stima sintetica-comparativa, confronto dei costi per realizzare costruzioni simili come i dati relativi ai computi metrici estimativi (CME) del 2016 degli interventi svolti sul complesso del Carmine (Chiesa ed ala Est forniti dal Comune di Lucca).

Dopo aver definito i costi sulla base delle fonti sopra citate, si è deciso di utilizzare un costo medio ponderato accorpando varie tipologie di lavorazione: indagini conoscitive e studio della vulnerabilità sismica; messa in sicurezza dell'area ed allestimento del cantiere; rimozione impianti, rivestimenti ed arredi; demolizioni di murature, controsoffittature, intonaci e solai; opere di consolidamento; opere in c.a.; opere in acciaio; predisposizione impianti; opere di isolamento termico/acustico; interventi sulla copertura; copertura e lattonerie; infissi esterni.

Sono stati redatti i computi per portare al grezzo la struttura e, infine, sono stati aggiunte le spese tecniche (10%), gli oneri della sicurezza (8%) e gli imprevisti a scopo cautelativo (10%), come percentuale della spesa globale prevista (Roscelli, 2014).

Per quanto riguarda i costi annuali di gestione (assimilabili alle spese da parte padronale), ovvero i costi che il proprietario sostiene per la conservazione del fabbricato, sono state calcolate come incidenza statistica percentuale del reddito annuo lordo (RPL), non avendo a disposizione dati reali di imprese che gestiscono patrimoni immobiliari simili. Le voci di costo considerate sono state:

- Reintegrazione, 3%;
- Manutenzione straordinaria, 6%;
- Assicurazione, 3%;

- Servizi, 2,5%;
- Amministrazione e sorveglianza, 2%;
- Sfitto e inesigibilità, 5%;
- Tributi, 35%;
- Interessi passivi, 1,5%.

Il Reddito Padronale Lordo (RPL) è stato determinato attraverso un procedimento sintetico, considerando un'indagine di mercato sui contratti di locazione di edifici con caratteristiche e destinazioni d'uso equivalenti a quelle ipotizzate nella fase progettuale per il Mercato del Carmine effettuata all'interno della Città di Lucca.

Tali valori, riportati al metro quadro, sono stati confrontati con i valori medi di locazione della banca dati dell'OMI (Osservatorio del Mercato Immobiliare dell'Agenzia delle Entrate) e altre fonti indirette (es. Immobiliare.it, Idealista e Borsino Immobiliare) al fine di valutarne la coerenza/ammissibilità. Per alcuni segmenti di mercato non è stato possibile reperire informazioni dirette sui canoni di affitto ed allora, sono stati utilizzati gli "asking price" (annunci di locazione) ridotti del 10% per l'eventuale "sconto trattativa". Infine, è stato ricavato il reddito netto medio annuo (ricavi netti) con la formula:

$$\text{Reddito Netto} = \text{RPL} - \text{spese annuali di gestione} \quad (5)$$

La Tabella 1 riporta le voci di costo e ricavo considerate per la DCFA, l'analisi di sensibilità e l'analisi di rischio.

Tabella 1. Costi per l'investimento iniziale, costi di gestione annuali, ricavi attesi annuali

Costi di ristrutturazione - riqualificazione	Valore Atteso
Costi per portare la struttura al grezzo	2.535.959,00 €
Costi adeguamento norme acc. + antincendio	819.273,00 €
Costi per destinazione d'uso	2.373.780,00 €
Totale costi di ristrutturazione - riqualificazione	5.729.012,00 €
Costi di gestione annuali	Valore Atteso
Reintegrazione	24.387,87 €
Manutenzione straordinaria e ordinaria	48.775,73 €
Assicurazione	24.387,87 €
Servizi	20.323,22 €
Amministrazione e sorveglianza	16.258,58 €
Sfitto e inesigibilità	40.646,44 €
Tributi	284.525,09 €
Interessi passivi	12.193,93 €
Totale costi di gestione annuali	471.498,73 €

Segue **Tabella 1**. Costi per l'investimento iniziale, costi di gestione annuali, ricavi attesi annuali

Ricavi annuali da locazione	Valore Atteso
Magazzini	52.800,00 €
Bar	20.613,60 €
Esercizi commerciali	142.122,60 €
Banco fisso mercato	90.469,44 €
Banco mobile	180.000,00 €
Area attrezzata cucine	38.400,00 €
Ristoranti	180.523,20 €
Affitto piazza coperta per eventi	108.000,00 €
Totale Ricavi annuali	812.928,84 €

Nello specifico, oltre alle voci ordinarie, riteniamo utile introdurre il significato delle seguenti voci della Tabella 1:

1. **Costi per portare la struttura al grezzo:** Il grezzo avanzato, indica, uno stadio di evoluzione dei lavori, di un fabbricato, in cui viene completato l'esterno, dunque viene provvisto di serramenti, eventuali scale interne/esterne, di un isolamento a cappotto, rivestito dagliintonaci e tinteggiato e predisposto per gli impianti elettrico ed idraulico;
2. **Costi adeguamento norme accessibilità' e antincendio:** Viene definita barriera architettonica qualunque elemento costruttivo che impedisca, limiti o renda difficoltosi gli spostamenti o la fruizione di servizi, specialmente per le persone con limitata capacità motoria. Quindi, come prevede l'art.3 del Decreto del Ministero dei lavori pubblici n.236 del 14 giugno 1989 (Ministero dei Lavori Pubblici, 1989), sono stati considerati interventi per garantire un livello di accessibilità degli spazi interni tale da consentire la fruizione dell'edificio sia al pubblico che al personale di servizio (rampe, ascensori, montascale, bagni con dimensioni adeguate, etc.). La progettazione antincendio individua le soluzioni tecniche rivolte al raggiungimento degli obiettivi primari della prevenzione incendi, ovvero, la sicurezza della vita umana, l'incolumità delle persone, la tutela dei beni e dell'ambiente. La stima dei costi per l'adeguamento antincendio è stata fatta classificando l'edificio in base al livello di rischio incendio seguendo quanto disposto dal D.M. n. 569 del 20/5/1992 e successivi (Ministero per i Beni Culturali e Ambientali, 1992). Dopo aver fatto un progetto di massima si sono computate le diverse voci (uscite di emergenza, scale antincendio, impianto antincendio, estintori, manichette NASPI, rilevatori fumi, allarmi e sirene, ascensore antincendio, segnaletica);
- 3 **Costi di destinazione d'uso:** Valutazione dei costi necessari al completamento dei lavori per adeguare l'edificio alla nuova funzione, ricavata con una stima sintetica-comparativa. Comprende le seguenti voci: impianto di cantiere, demolizioni, opere di consolidamento, opere di muratura, impianti elettrici ed idrici, rifiniture edili, infissi, arredi, spese tecniche, oneri per la sicurezza e imprevisti.

5. Risultati e Discussione

5.1. Il Tool Sviluppato in MS Excel

Come descritto in precedenza, in questa ricerca è stato sviluppato uno strumento operativo (tool) in MS Excel che si caratterizza per la sua facilità d'uso, la massima trasparenza nei calcoli e la flessibilità di analisi.

Infatti, oltre ad un'interfaccia "*user-friendly*" che guida l'analista durante tutte le fasi dell'analisi (dall'inserimento dei dati alla visualizzazione dei risultati finali), è possibile visualizzare/modificare le relazioni analitiche sfruttate dal software Excel e dallo strumento RISOLUTORE (ad esempio, le Equazioni 1-4 precedentemente proposte) per condurre l'analisi dei flussi di cassa scontati (DCFA), l'analisi di sensibilità e di rischio e, inoltre, modellare differenti scenari di rischio grazie alla possibilità di inserire il livello (e del tipo) di incertezza dei parametri di input.

Di seguito, si esplicita il funzionamento del tool sviluppato in cinque differenti fasi operative. Sono menzionati i principali comandi Excel utilizzati ed i principali calcoli eseguiti dal tool.

FASE 1 – inserimento dei dati di ingresso (input): per prima cosa, l'analista inserisce le voci di costo e di ricavo per lo scenario da simulare. Si deve inserire il valore medio atteso (così come quello della Tabella 1) e la percentuale attesa di variazione rispetto a tale valore medio, ossia l'incertezza nella stima del valore medio atteso. Inoltre, l'incertezza nella stima viene modellata in funzione della distribuzione (normale, triangolare, casuale, binomiale, ecc.) dei valori di ciascuna voce. Ciascuna voce di costo o di ricavo può avere, quindi, un grado di incertezza ed una distribuzione differente.

Nel caso di studio proposto, essendo stato sviluppato a scopo dimostrativo - e non avendo a disposizione informazioni di dettaglio sulle voci di input - le voci di costo e di ricavo sono state considerate con un'incertezza del 10% rispetto al valore medio atteso e con una distribuzione di tipo normale. In precedenza, abbiamo spiegato il motivo per il quale, in questo specifico contesto, la distribuzione normale è preferibile rispetto alle altre. Il tool, sulla base delle informazioni fornite dall'analista e considerato il valore medio atteso, calcola la deviazione standard della distribuzione di ciascuna voce di input.

Come ulteriori voci di input, l'analista specifica il saggio di sconto desiderato e la durata dell'investimento: parametri che possono, dunque, variare da scenario a scenario; in questo caso, come precedentemente specificato, il saggio di sconto è il 3% e la durata dell'investimento di 30 anni.

FASE 2 – Analisi dei flussi di cassa attualizzati: una volta che tutte le voci di ingresso sono state definite, il tool esegue l'analisi DCFA, fornendo le voci di costo e di ricavo (per ciascun anno di analisi), il flusso di cassa annuale (anno dopo anno), il VAN annuale (per ciascun anno di analisi), ed il VAN cumulato (anno dopo anno). Il tool calcola poi il VAN cumulato anche secondo la formula Excel denominata "VAN", e confronta che il valore ottenuto sia uguale a quello del VAN cumulato (calcolato analiticamente tramite l'Equazione 1).

Successivamente il tool calcola il parametro TR tramite il comando Excel "INTERCETTA", il parametro TRI tramite il comando "TIR.COST" ed il parametro IR tramite l'Equazione 4.

L'analisi DCFA è "statica", ossia fornisce risultati puntuali ed univoci dei parametri VAN, TR, TRI, e IR, una volta specificati i dati di ingresso e la loro massima variazione ammessa. Ciononostante, data l'incertezza assegnata ai parametri di input, a parità degli stessi, ogni simulazione comporta dei risultati leggermente diversi. Dunque, nonostante l'analisi sia di tipo statico, effettuando più simulazioni, l'analista può verificare se si ottengono valori simili o differenti dei parametri nell'analisi DCFA. Questo consente di effettuare un primo controllo sulla robustezza dell'investimento tramite un'analisi DCFA di tipo tradizionale.

FASE 3 – Analisi di sensibilità: Per quanto riguarda l'analisi di sensibilità, in accordo a quanto previsto dalle linee guida per la valutazione dei finanziamenti per progetti europei (European Commission - Directorate General for Regional and Urban Policy, 2015), il tool in MS Excel permette di quantificare due valori soglia per ciascuna variabile di input del modello, così come specificato al paragrafo 3.2.

La prima soglia mostra la variazione percentuale del parametro VAN in funzione dell'incremento o del decremento dell'1% dei parametri di input. Se la variazione risultante del VAN è superiore a +1% o inferiore a -1%, si classifica la variabile analizzata come critica.

La seconda soglia, simile alla prima, mostra il valore della variabile di input che conduce ad una variazione dell'1% del parametro VAN. In questo modo, per ciascuna voce di input è possibile quantificare il livello di criticità in termini monetari. L'analista è dunque in grado di definire il livello di affidabilità da perseguire nelle stime delle varie voci di input.

Il tool sviluppato conduce dapprima un'analisi DCFA di tipo statico come per la FASE 2, ma senza considerare l'incertezza nelle voci di ingresso. Dunque, esso esegue nuovamente tre differenti DCFA. La prima propone un incremento dell'1% nei costi di investimento iniziali, la seconda propone un

incremento dell'1% nei costi di gestione annuali, mentre la terza propone un decremento dell'1% dei ricavi annuali. Per ciascuna delle tre differenti analisi DCFA, il tool calcola la variazione percentuale di VAN, di TR, di TRI, e di IR rispetto alla analisi DCFA "base" condotta inizialmente e, dunque, individua le due soglie precedentemente indicate per i tre scenari.

FASE 4 – Analisi del rischio con il metodo Monte Carlo: il tool propone dunque l'analisi di rischio con il metodo Monte Carlo. Dunque, una volta specificate le distribuzioni di probabilità delle singole voci di input, il loro valore atteso ed il loro grado di incertezza, il tool effettua un totale di 10.000 simulazioni con lo scopo di ottenere la distribuzione dei parametri VAN, TRI, TR, e IR. Anche il numero di simulazioni totali può essere modificato dall'analista all'interno del tool sviluppato. Si è visto, comunque, che dopo 1.000 simulazioni i risultati sono stabili e, pertanto, in questo caso, un valore di 10.000 simulazioni è più che sufficiente a garantire risultati robusti ed affidabili.

Il tool effettua dunque 10.000 analisi DCFA modificando di volta in volta le voci di ingresso, considerando che esse possono variare in funzione dell'incertezza e della distribuzione specificata. I parametri VAN, TR, TRI, e IR vengono calcolati per ciascuna simulazione ed aggregati infine in una tabella riepilogativa, la quale riporta le statistiche descrittive principali dei quattro parametri stessi: media e deviazione standard, minimo e massimo, asimmetria e curtosi, e livello di rischio, ossia la probabilità di perdita di valore (probabilità nelle 10.000 simulazioni di ottenere un VAN negativo, un TR superiore a 30 anni, un TRI inferiore al 3%, ed un IR inferiore ad 1).

Le statistiche descrittive forniscono informazioni utili sulla distribuzione degli indicatori finanziari per l'investimento in esame. La media e la deviazione standard indicano la tendenza centrale e la variabilità dei dati, rispettivamente, mentre i valori minimi e massimi forniscono informazioni sul potenziale range di valori dei risultati. L'asimmetria e la curtosi forniscono informazioni sulla forma della distribuzione, valutando come tale possa differire da una distribuzione normale. Il rischio di perdita di valore indica il potenziale rischio degli investimenti.

Il tool propone, a conclusione dell'analisi di rischio con il metodo Monte Carlo, le distribuzioni (in formato grafico) dei parametri VAN, TR, TRI e IR, in modo da fornire uno strumento di immediata lettura per l'analista e per eventuali stakeholders interessati all'investimento.

FASE 5 – Curve di Rischio della Perdita di Valore: il tool conclude l'analisi dell'investimento con il tracciamento automatico delle Curve di Rischio. Come anticipato, tali Curve di Rischio sono dei grafici che mettono in relazione il grado di incertezza degli input di ingresso (ossia la variazione percentuale ammessa rispetto al valore medio atteso) con il Rischio della perdita di valore (ossia la probabilità che i parametri VAN, TRI, TR e IR non siano accettabili).

Le Curve di Rischio consentono di quantificare il rischio assunto dall'investitore una volta specificata la percentuale di incertezza da considerare nei valori delle variabili di input del modello. La loro costruzione grafica segue quanto specificato al paragrafo 3.3.

5.2. Principali Risultati del tool sviluppato

La Tabella 2 riporta la DCFA di tipo tradizionale (o "statica"), ossia la procedura attraverso la quale, una volta specificato un tasso di sconto, voci di costo e voci di ricavo attese (quelle in Tabella 1), le loro variazioni percentuali ammesse e loro distribuzioni, si ottengono valori univoci di VAN, TRI, TR, e IR.

La DCFA viene condotta automaticamente dal tool seguendo le Equazioni 1-4 precedentemente introdotte. La Tabella 2 rappresenta dunque il primo dei risultati (output) del tool sviluppato.

Tabella 2. Analisi dei flussi di cassa attualizzati "statica"

Valore Attualizzato Netto VAN	963.169 €
Tempo di Ritorno (TR)	23,55 Anni
Tasso di Rendimento Interno (TRI)	4,25%
Indice di Redditività (IR)	1,17

Sulla base della DCFA riassunta nella Tabella 2, il progetto di rigenerazione urbana del Mercato del Carmine ha un VAN positivo pari a 963.169 €. Il TR pari a 23,55 anni suggerisce che il progetto richiederebbe un tempo inferiore al limite di 30 anni (ipotizzato dagli autori) per recuperare il suo investimento iniziale. Inoltre, il TRI pari al 4,25% e l'IR pari a 1,17 indicano entrambi che l'investimento ha un tasso di rendimento positivo (rispetto ai parametri di rischio fissati al paragrafo 3.3).

Pertanto, questi risultati suggerirebbero che la rigenerazione urbana del Mercato del Carmine di Lucca risulta finanziariamente sostenibile. Tuttavia, come discusso in precedenza, l'analisi statica non consente di avere informazioni adeguate su tutti i rischi e le incertezze associate a un progetto a lungo termine come il presente. Per questo motivo, è stata svolta l'analisi di sensibilità e l'analisi del rischio, anch'essa tramite il tool sviluppato in MS Excel.

Proponiamo di seguito il caso della valutazione delle due soglie nei costi iniziali di investimento, nei costi di gestione annuali, e nei ricavi attesi annuali per il caso studio del Mercato del Carmine. La Tabella 3 seguente mostra i due valori soglia per le tre voci di input sopracitate. La Tabella 3 rappresenta il secondo degli output del tool sviluppato.

Tabella 3. Valori soglia: effetti sul VAN dell'incremento dell'1% nei costi iniziali e nei costi di gestione e del decremento dell'1% nei ricavi

Costi iniziali di investimento	
Prima Soglia	-2,63 %
Seconda Soglia	9.631,69 €
Costi di gestione annuali	
Prima Soglia	-5,79 %
Seconda Soglia	491,40 €
Ricavi annuali	
Prima Soglia	-3,66 %
Seconda Soglia	491,40 €

La Tabella 3 evidenzia che i costi di gestione e i ricavi annuali sono più critici di quanto non lo siano i costi dell'investimento iniziale. Infatti, un incremento dell'1% nei costi di gestione annuali o un decremento dell'1% dei ricavi annuali comportano, rispettivamente, un decremento del VAN del 5,79% e del 3,66%, mentre un incremento dell'1% dei costi di investimento iniziali comporta un decremento del VAN del 2,63%.

La seconda soglia mostra il valore monetario delle voci di input oltre le quali il valore del parametro VAN è maggiore dell'1%: nei costi di investimento questa variazione si raggiunge con un incremento dei costi di 9.623,69 €; per i costi di gestione annuali la soglia è 491,40 € e per i ricavi la soglia è -491,40 €.

Successivamente alla DCFA ed alla analisi di sensibilità, con il tool sviluppato su MS Excel si è proceduto all'analisi di rischio con il metodo Monte Carlo.

La Tabella 4 riporta le statistiche descrittive delle distribuzioni dei parametri VAN, TRI, TR e IR. Le Figure 4-7 mostrano i grafici di tali distribuzioni. Sia la Tabella 4 seguente che le Figure 4-7 sono state realizzate in maniera automatica nel tool di MS Excel. Dunque, la Tabella 4 e le Figure 4-7 rappresentano il terzo e quarto output del tool sviluppato.

Come considerazione generale, notiamo che i valori medi delle simulazioni Monte Carlo per i quattro indicatori considerati sono praticamente coincidenti con i valori ottenuti attraverso la DCFA "statica" (Tabella 2). Ciò conferma che, dopo 10.000 simulazioni, i parametri considerati hanno una certa stabilità e, nonostante possibili fluttuazioni, si attestano attorno a valori medi che coincidono con quelli ottenuti tramite una DCFA "statica". Una constatazione simile può essere riscontrata nella

ricerca di French e Gabrielli (French e Gabrielli, 2005), dove gli autori hanno utilizzato il metodo delle "Crystal Ball" per tener conto dell'incertezza nelle analisi dei flussi di cassa. Gli autori affermano, infatti, che: "l'introduzione dell'incertezza negli input consente di produrre un range di differenti risultati. La tendenza centrale di questa distribuzione è molto vicina alla stima che si ottiene con il modello statico (punto singolo), ma l'utente beneficia della conoscenza del livello del rischio di rialzo e di ribasso rispetto alla stima fatta con il metodo statico (punto singolo) (traduzione degli autori)".

Tabella 4. Statistiche descrittive delle distribuzioni dei parametri VAN, TRI, TR, e IR dopo 10,000 simulazioni Monte Carlo

Parametro	VAN	TR	TRI	IR
Media	964.161 €	23,56	4,28%	1,17
Dev. St.	421.253 €	1,85	0,60%	0,08
Minimo	-376.563 €	18,48	2,57%	0,95
Massimo	2.164.816 €	29,40	6,15%	1,43
Asimmetria	-0,13	0,19	0,11	0,19
Curtosi	-0,14	-0,12	-0,12	-0,10
Rischio di Perdita di valore	1,40%	0,00%	1,40%	1,40%

Nello specifico, considerando i risultati della Tabella 4, possiamo derivare le seguenti considerazioni:

VAN: La media del VAN è di € 964.161 con una deviazione standard di € 421.253. Il valore minimo del VAN (- € 376.563) indica possibili esiti negativi dell'investimento mentre il massimo di € 2.164.816 indica performance potenziali molto positive. I dati presentano una leggera asimmetria negativa (asimmetria pari a -0,13) e una distribuzione relativamente appiattita (curtosi = -0,14) rispetto a una distribuzione normale. Come precedentemente indicato, l'asimmetria negativa per una distribuzione normale significa che la distribuzione ha una prevalenza di dati sul lato destro della media e minori dati sul lato sinistro della media. Pertanto, nel caso del VAN, un'asimmetria negativa è un dato positivo perché il numero di simulazioni con VAN > VAN medio (a sinistra) è più elevato rispetto alle simulazioni che risultano con un VAN < VAN medio (a destra).

Inoltre, una curtosi negativa indica che la distribuzione è più piatta rispetto a una normale. Da un lato, ciò significa che ci sono meno valori estremi che potrebbero influenzare significativamente l'esito dell'investimento. Questo può essere un elemento vantaggioso per gli investitori avversi al rischio, i quali preferiscono avvalersi di una maggiore uniformità nel livello del rendimento dell'investimento, in modo che esso sia quanto più prevedibile e sicuro. D'altro canto, una distribuzione piatta può anche significare che c'è meno potenziale per rendimenti elevati. Ciò è dovuto alla minor probabilità che la distribuzione contenga valori estremi che potrebbero aumentare significativamente il VAN.

Il rischio di perdita di valore, ossia il numero di volte (in percentuale) in cui è stato ottenuto un VAN negativo è pari all'1,40% e questo indica una probabilità molto elevata che si realizzi un risultato positivo. Sono, infatti, 9.860 su 10.000 le simulazioni economicamente sostenibili dal punto di vista del VAN. La Figura 4 riporta la distribuzione del VAN.

TRI: La media del TRI è del 4,28%, con una deviazione standard del 0,60%. Il TRI minimo è del 2,57%, mentre il massimo è del 6,15%. I dati presentano una leggera asimmetria positiva (asimmetria = 0,11), indicando che la maggior parte dei progetti ha un TRI inferiore alla media. La curtosi è -0,12, il che indica che la distribuzione è relativamente piatta. Il rischio di perdita di valore è del 1,40%, uguale al rischio di perdita di valore del VAN indicando, logicamente, una relazione lineare tra VAN e TRI. La Figura 5 riporta la distribuzione del TRI.

TR: La media del TR è di 23,56, con una deviazione standard di 1,85. Il TR minimo è di 18,48, mentre il massimo TR è di 29,40. I dati presentano una leggera asimmetria positiva (asimmetria = 0,19), indicando che la maggior parte dei progetti ha un periodo di recupero più lungo rispetto alla media. La curtosi è -0,12, il che indica che la distribuzione è relativamente piatta. Il rischio di perdita di valore è nullo in quanto, con 10.000 simulazioni, non ci sono casi in cui il TR risultante sia superiore a 30 anni. La Figura 6 riporta la distribuzione del TR.

IR: La media del IR è 1,17, con una deviazione standard di 0,08. L'IR minimo è 0,95, mentre il massimo è 1,43. I dati presentano una leggera asimmetria positiva (asimmetria = 0,19), indicando che la maggior parte dei progetti ha un IR inferiore alla media. La curtosi è -0,10, il che indica che la distribuzione è relativamente piatta. Il rischio di perdita di valore è del 1,40%; è uguale al rischio di perdita di valore sia del VAN che del TRI, indicando una relazione lineare tra l'IR e tali parametri. La Figura 7 riporta la distribuzione del IR.

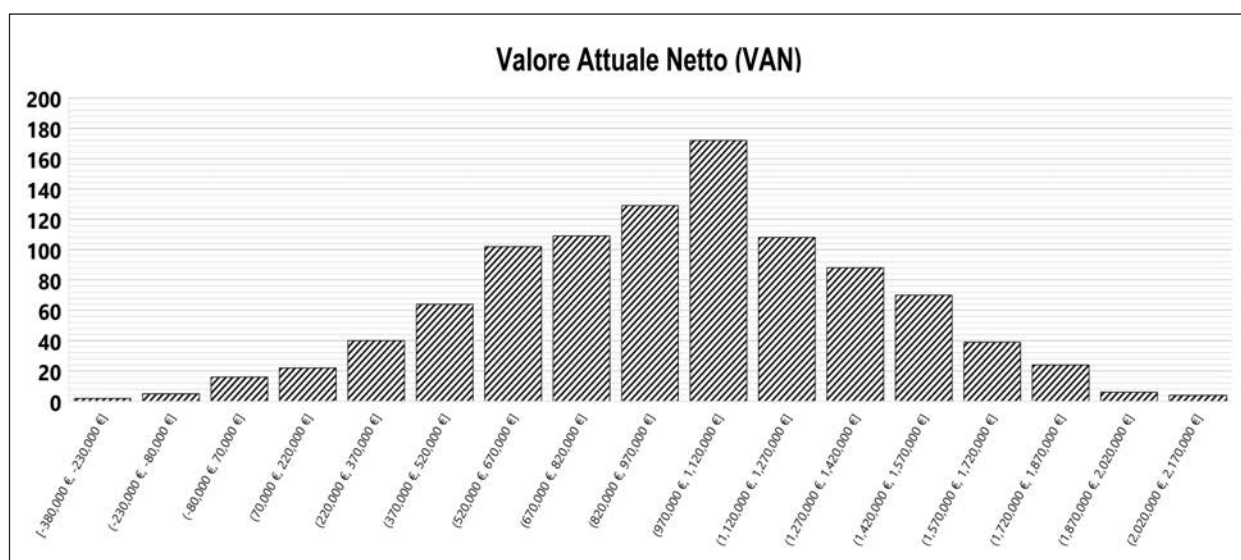


Figura 4. Distribuzione del VAN dopo 10,000 simulazioni Monte Carlo.

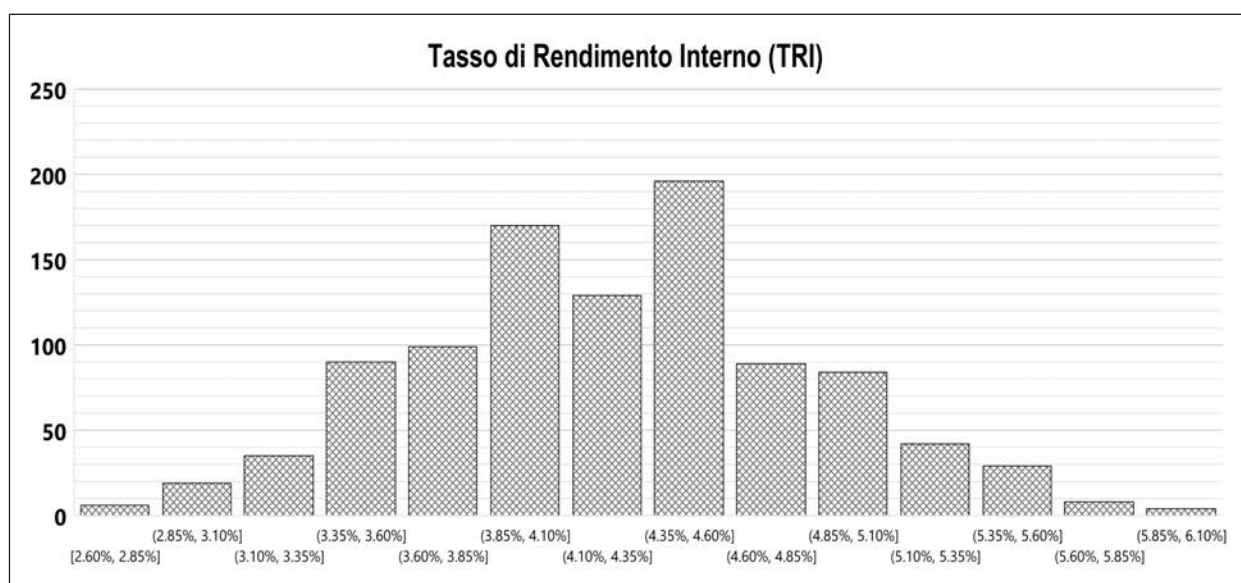


Figura 5. Distribuzione del TRI dopo 10,000 simulazioni Monte Carlo.

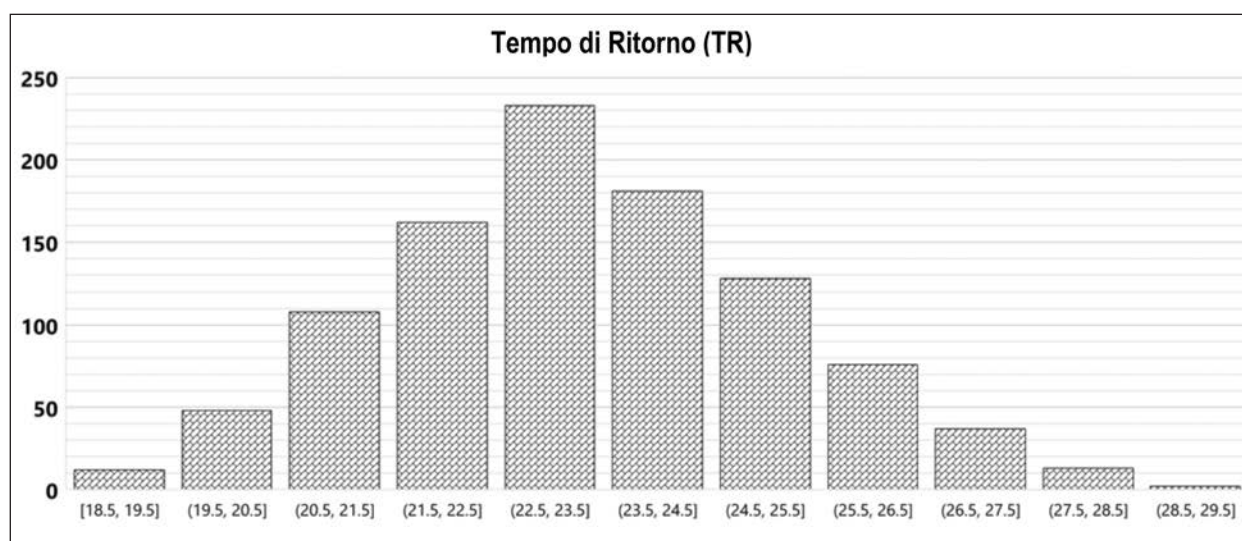


Figura 6. Distribuzione del TR dopo 10,000 simulazioni Monte Carlo.

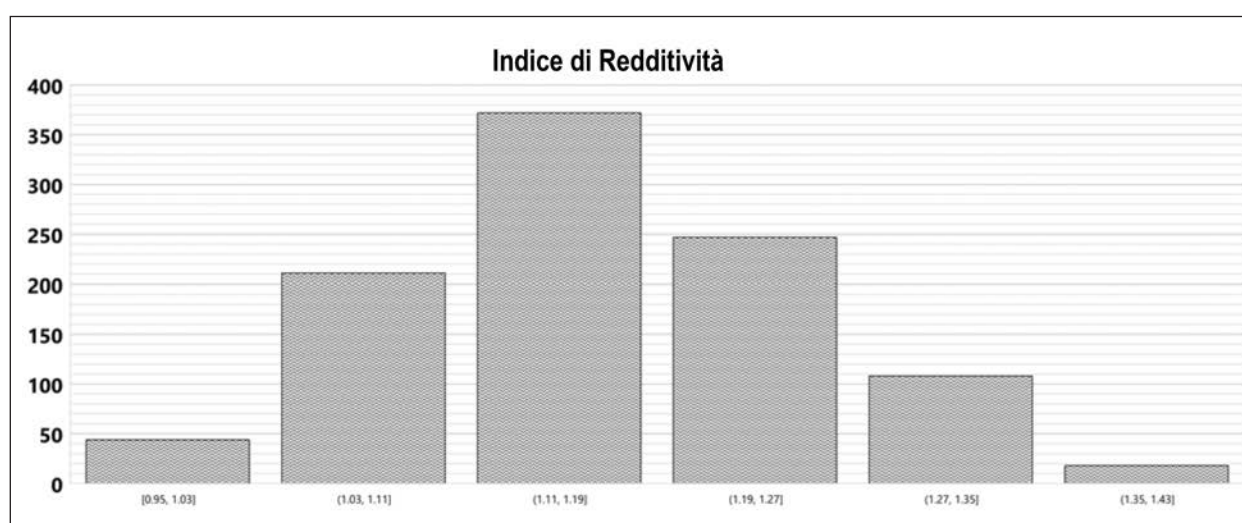


Figura 7. Distribuzione dell'IR dopo 10,000 simulazioni Monte Carlo.

Si vede bene dalle Figure 4-7 che i grafici hanno una forma a campana; questo era prevedibile in base al Teorema del Limite Centrale, il quale afferma che la somma (o la media) di un grande numero di variabili aleatorie indipendenti è approssimativamente normale, indipendentemente dalla distribuzione delle stesse.

Nella Figura 4, si può osservare che il VAN presenta un picco ben marcato su circa 1M di euro, a dimostrazione del fatto che la probabilità che il VAN sia maggiore di zero è molto elevata.

Inoltre, nella Figura 5, si può osservare che per il TRI ci sono due picchi distinti; un primo valore che si attesta su circa il 4% ed un secondo valore vicino al 4,5%. Questo dimostra che un elevato numero di simulazioni ha un'elevata probabilità di ottenere TRI con valori vicini a questi due picchi. Come indicato nella Tabella 4, la media della distribuzione risiede a circa metà tra questi due valori.

Come discusso nella sezione metodologica, a seguito delle analisi di sensibilità e di rischio, si conclude questa ricerca con il tracciamento delle Curve di Rischio, realizzate anch'esse in maniera automatica all'interno del tool definito in MS Excel. Le stesse rappresentano il quinto ed ultimo output del tool. In Figura 8 si mostra il grafico che evidenzia dette curve. In nero si riporta la curva di rischio per i parametri VAN, TRI, e IR (analoga, essendo i tre parametri linearmente dipendenti) mentre, in grigio, si riporta la curva di rischio per il parametro TR.

Entrambe le curve assumono una forma ad “S” e, inoltre, si può osservare una marcata differenza tra la curva nera e la curva grigia. Questo porta ad affermare che il rischio della perdita di valore è più elevato per i parametri VAN, TRI, e IR rispetto al TR che, a parità di variabilità delle voci di input del modello, rimane più stabile e meno sensibile alla loro variabilità.

Le curve evidenziano, inoltre, un fatto importante; fino al 10% di variazione delle variabili di input non vi è sostanzialmente rischio di perdita di valore (rischio pari a circa 0%). Di conseguenza, se l'errore che l'analista commette nella stima degli input (valori riportati Tabella 1) rientra in tale intervallo, si ha un'elevata probabilità (per non dire certezza) che i risultati della DCFA condotta secondo i tradizionali metodi di calcolo “statici” siano comunque affidabili, e che la variabilità degli indicatori finanziari sia tollerabile ed ininfluenza sulla valutazione globale dell'investimento.

Tuttavia, se la variazione supera il 10%, le Curve di Rischio presentano un “ginocchio”, il quale conduce repentinamente ad elevate probabilità di rischio di perdita di valore. Per il parametro TR il rischio è contenuto entro il 5% fino a variazioni del 20% del valore degli input. Per i parametri VAN, TRI, IR, invece, il rischio si attesta sul 10% entro le stesse percentuali di variazione.

Dalla Figura 8 si osserva che il rischio della perdita di valore continua a crescere con intensità via via minore all'aumentare della variazione percentuale, fino a raggiungere un “plateau” coincidente con una variazione di circa l'80%. Questo valore finale, sebbene sia teorico, dimostra che esiste un limite massimo al rischio di perdita di valore di circa il 32-33% per il parametro TR, e di circa il 40% per i parametri VAN, TRI, e IR, qualora l'errore commesso nella stima delle voci di input sia estremamente elevato.

Inoltre, le curve di rischio possono essere utilizzate anche “indirettamente” per identificare il livello di inaccettabilità del rischio di fallimento: ad esempio, secondo le curve di rischio per questo specifico caso, se riteniamo non accettabile un rischio superiore ad una certa soglia, ad esempio del 20%, la variazione delle variabili di input dovrebbe rimanere contenuta entro il 30%. Pertanto, se l'analista ritiene di operare in condizioni di forte aleatorietà nelle variabili di input in relazione alle turbolenze del mercato – sia sul fronte dei costi che dei ricavi – tale da rendere molto probabile il superamento di questa soglia, allora sarebbe opportuno non procedere nell'investimento.

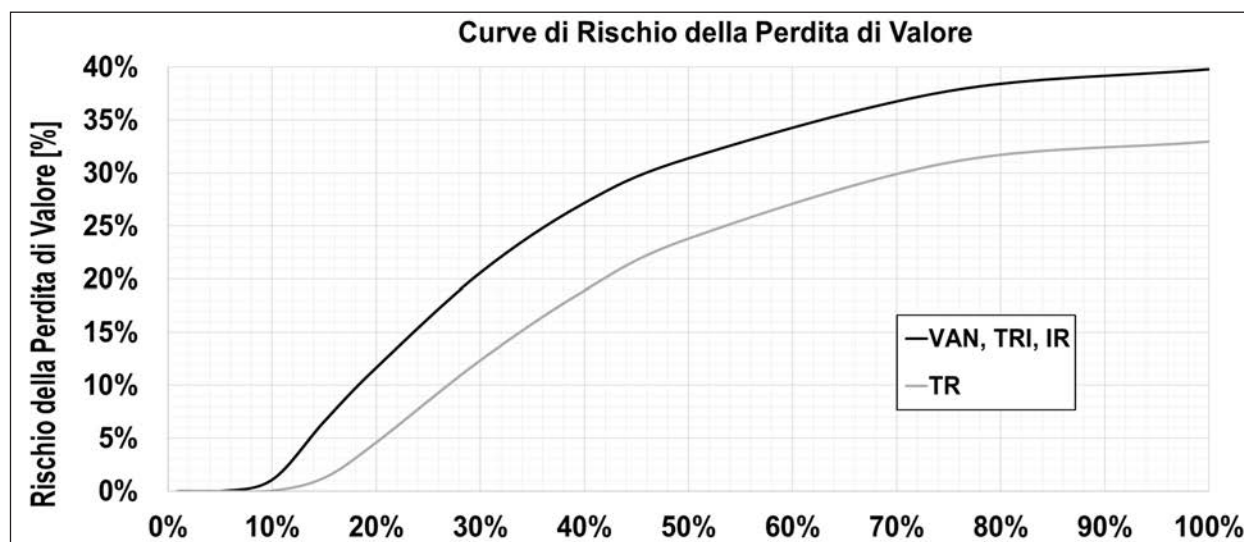


Figura 8. Curve di Rischio della Perdita di Valore; la curva nera si riferisce al VAN, TRI, e IR, la curva grigia si riferisce al TR.

6. Conclusioni

I progetti di rigenerazione urbana possono offrire significativi vantaggi alle comunità, come miglioramenti nella qualità abitativa, aumento dell'attività economica e una qualità degli spazi pubblici più elevata in grado di garantire una miglior socialità e favorire la coesione sociale. Tuttavia, questi

progetti possono comportare anche un elevato livello di rischio finanziario nella loro realizzazione che deve essere adeguatamente valutato.

Per tale ragione, in questo articolo – grazie allo sviluppo di un pratico tool su MS Excel – sono state effettuate simulazioni Monte Carlo per quantificare il rischio di perdita di valore nei progetti di rigenerazione urbana, sviluppando le cosiddette Curve di Rischio di Perdita di Valore, un approccio innovativo nel campo dell'analisi del rischio.

La metodologia prevede una combinazione di DCFA tradizionale e simulazioni Monte Carlo, dimostrando che è possibile supportare i decisori pubblici (o anche privati) affinché possano prendere decisioni più consapevoli e meno rischiose nei progetti di rigenerazione urbana. Lo sviluppo delle Curve di Rischio fornisce inoltre uno strumento prezioso per valutare e gestire il rischio, consentendo ai decisori di comprendere meglio il trade-off tra l'incertezza e la potenzialità dell'investimento.

Il caso di studio del progetto di rigenerazione del Mercato del Carmine a Lucca, Regione Toscana, dimostra l'importanza di una attenta considerazione delle variabili critiche come i possibili incrementi nei costi iniziali e nei costi di gestione, nonché le possibili riduzioni nei ricavi. I risultati dell'articolo mostrano che di fronte ad una variazione del 10% di queste voci il progetto può essere realizzato senza un impatto significativo sulle performance dell'investimento. Tuttavia, variazioni più elevate possono drasticamente aumentare il rischio di perdita di valore, sottolineando la necessità di una attenta stima di queste variabili critiche.

Concludendo, l'articolo fornisce informazioni sulla DCFA, sull'analisi di sensibilità e sull'analisi del rischio nei progetti di rigenerazione urbana, sottolineando l'importanza delle simulazioni Monte Carlo e delle Curve di Rischio per la gestione del rischio dell'investimento. Lo strumento sviluppato su MS Excel fornisce, inoltre, un supporto operativo semplice, trasparente, flessibile ed efficace per le pubbliche amministrazioni, le quali potranno valutare il rischio dei progetti di investimento affiancando il modello di simulazione Monte Carlo e le Curve di Rischio alla tradizionale DCFA.

Contributo degli autori

Concettualizzazione: N.F., M.R.; Cura dei dati: N.F., D.M.; Analisi formale: N.F.; Indagine: N.F.; Metodologia: N.F., M.R.; Risorse: N.F., M.R.; Software: N.F.; Convalida: N.F.; Visualizzazione: N.F., D.M.; Stesura—bozza originale: N.F., D.M.; Stesura—revisione e modifica: N.F., M.R.; Supervisione: M.R.

Bibliografia

- Albani D. (1990). *Saggio di morfologia urbana*. S. Marco Litotipo, Lucca.
- Anelli D. & Tajani F. (2023). Spatial decision support systems for effective ex-ante risk evaluation: An innovative model for improving the real estate redevelopment processes. *Land Use Policy*, 128, Article 106595. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2023.106595>
- Bacci M. (1997). *Le antiche lapidi della Chiesa del Carmine*. In *L'Aldilà* (pp. 19–45). Lucca.
- Baracchini C. (1983). *Il secolo di Castruccio Castracani: Fonti e documenti di storia lucchese*. Maria Pacini Fazzi Editore, Lucca.
- Bedini G. & Fanelli G. (1971). *Lucca: Spazio e tempo dall'Ottocento a oggi*. Maria Pacini Fazzi Editore, Lucca.
- Campetti P. (1914). *Lucca nel 1913. Illustrazione commerciale, industriale, artistica della città con numerosi clichés di edifici antichi e modernissimi*. Lucca.
- Corticelli R., Pazzini M., Mazzoli C., Lantieri C., Ferrante A. & Vignali V. (2022). Urban regeneration and soft mobility: The case study of the Rimini Canal Port in Italy. *Sustainability*, 14(21), 14529. <https://doi.org/10.3390/su142114529>
- Crisman B., Martellos L. & Rosato P. (2018). Evaluating actions to improve the safety of urban provincial roads: A hierarchical multi-attribute approach. *Valori e Valutazioni*, 20, 41–46.
- de Paula P.V., Marques R.C. & Gonçalves J.M. (2023). Public-private partnerships in urban regeneration projects: A review. *Journal of Urban Planning and Development*, 149(1). <https://doi.org/10.1061/jupddm.upeng-4144>
- Decreto del Presidente della Repubblica. (2010). *Regolamento di esecuzione ed attuazione del decreto legislativo 12 aprile 2006, n. 163, recante «Codice dei contratti pubblici relativi a lavori, servizi e*

- forniture in attuazione delle direttive 2004/17/CE e 2004/18/CE».
- DEI Tipografia del Genio Civile. (2020). *Prezzi informativi dell'edilizia. Recupero, ristrutturazione, manutenzione, secondo semestre 2020*.
- Della Spina L. (2020). Revitalization of inner and marginal areas: A multi-criteria decision aid approach for shared development strategies. *Valori e Valutazioni*, 2020, 25, 34-44.
- Dell'Ovo M., Bassani S., Stefanina G. & Oppio A. (2020). Memories at risk: How to support decisions about abandoned industrial heritage regeneration. *Valori e Valutazioni*, 2020, 24, 107-115.
- Di Liddo F., Morano P., Tajan F. & Torre C.M. (2020). An innovative methodological approach for the analysis of the effects of urban interventions on property prices. *Valori e Valutazioni*, 2020, 26, 25-49.
- Dikmen I., Birgonul M.T. & Han S. (2007). Using fuzzy risk assessment to rate cost overrun risk in international construction projects. *International Journal of Project Management*, 25(5), 494-505. <https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2006.12.002>
- Erbey D. & Erbas A.E. (2017). The challenges of spatial continuity in urban regeneration projects: The case of Fener Balat historical district in Istanbul. *International Journal of Sustainable Development and Planning*, 12(3), 498-507. <https://doi.org/10.2495/SDP-V12-N3-498-507>
- European Commission - Directorate General for Regional and Urban Policy. (2015). *Guide to cost-benefit analysis of investment projects: Economic appraisal tool for Cohesion Policy 2014-2020*. European Commission, Directorate-General for Regional and Urban Policy.
- French N. & Gabrielli L. (2005). Discounted cash flow: Accounting for uncertainty. *Journal of Property Investment and Finance*, 23(1), 75-89. <https://doi.org/10.1108/14635780510575102>
- French N. & Gabrielli L. (2004). The uncertainty of valuation. *Journal of Property Investment & Finance*, 22(6), 484-500. <https://doi.org/10.1108/14635780410569470>
- Harrison R.L. (2009). Introduction to Monte Carlo simulation. *AIP Conference Proceedings*, 1204(1), 17-21. <https://doi.org/10.1063/1.3295638>
- Kroese D.P., Brereton T., Taimre T. & Botev Z.I. (2014). Why the Monte Carlo method is so important today. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Computational Statistics*, 6(6), 386-392. <https://doi.org/10.1002/wics.1314>
- Loizou P. & French N. (2012). Risk and uncertainty in development: A critical evaluation of using the Monte Carlo simulation method as a decision tool in real estate development projects. *Journal of Property Investment and Finance*, 30(2), 198-210. <https://doi.org/10.1108/14635781211206922>
- Mallinson M. & French N. (2000). Uncertainty in property valuation: The nature and relevance of uncertainty and how it might be measured and reported. *Journal of Property Investment & Finance*, 18(1), 1463-578.
- Mangialardo A. & Micelli E. (2017). The grass roots participation creates new value? Simulation models for bottom-up enhancement processes of public real-estate properties. *Valori e Valutazioni*, 19, 41-52.
- Mariotti D. (2019). *La riqualificazione economica del Mercato del Carmine a Lucca: proposte progettuali e studio di fattibilità* (MSc. thesis). University of Pisa, Italy, Pisa.
- Microsoft Corporation. (2018). *Microsoft Excel*.
- Ministero dei Lavori Pubblici. (1989). *Decreto Ministeriale 14 giugno 1989, n. 236: Prescrizioni tecniche necessarie a garantire l'accessibilità, l'adattabilità e la visitabilità degli edifici privati e di edilizia residenziale pubblica sovvenzionata e agevolata, ai fini del superamento e dell'eliminazione delle barriere architettoniche*.
- Ministero per i Beni Culturali e Ambientali. (1992). *Decreto 20 maggio 1992, n. 569: Regolamento contenente norme di sicurezza antincendio per gli edifici storici e artistici destinati a musei, gallerie, esposizioni e mostre*.
- Napoli G., Gabrielli L. & Barbaro S. (2017). The efficiency of the incentives for the public buildings energy retrofit: The case of the Italian regions of the "objective convergence." *Valori e Valutazioni*, 18, 25-39.
- Nesticò A., He S., De Mare G., Benintendi R. & Maselli G. (2018). The ALARP principle in the cost-benefit analysis for the acceptability of investment risk. *Sustainability*, 10(12), 4668. <https://doi.org/10.3390/su10124668>
- Nesticò A., Macchiaroli M. & Maselli G. (2020). An innovative risk assessment approach in projects for

- the enhancement of small towns. *Valori e Valutazioni*, 25, 91–98.
- Romanelli M., Ferrara M., Metallo C., Reina R., Varriale, L., Ventura M., Vesperi W. & Buonocore F. (2022). Advancing urban regeneration projects for sustainable development and intellectual capital. In *Proceedings of the European Conference on Knowledge Management, ECKM*, 1002–1009. <https://doi.org/10.34190/eckm.23.2.543>
- Roscelli R. (2014). *Manuale di estimo*. UTET, Novara.
- Tuscany Region. (2021). *Prezzario regionale dei lavori pubblici*.
- van den Hurk M. & Tasan-Kok T. (2020). Contractual arrangements and entrepreneurial governance: Flexibility and leeway in urban regeneration projects. *Urban Studies*, 57(16), 3217–3235. <https://doi.org/10.1177/0042098019894277>
- Autori Vari. (1807). *Bollettino ufficiale delle leggi e decreti del Principato Lucchese*. Lucca.
- Vetter D.M. & Vetter M. (2019). Monte Carlo simulation in a financial strategy for urban development using land value capture. *Journal of Property Investment and Finance*, 37(4), 405–415. <https://doi.org/10.1108/JPIF-03-2019-0032>
- Yu J.H. & Kwon H.R. (2011). Critical success factors for urban regeneration projects in Korea. *International Journal of Project Management*, 29(7), 889–899. <https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2010.09.001>