A new software for estimating the depreciated reproduction cost implemented in BIM

Benedetto Manganelli, Sabina Tataranna***

keywords: building information modeling, facility management, maintenance, cost value, depreciation

Abstract

The maintenance, renovation and eventual demolition of a building, incurs substantial financial and social cost. The optimal and rational management of these phases in the life cycle of the building is a priority to support the economic and environmental sustainability of the construction process. The scientific community and government organizations are showing significant interest in the use of BIM-based technologies and tools to collect, combine and manage high amounts of data involved. The estimation of production, reconstruction and maintenance costs incurred over the life cycle can be carried out automatically through BIM.

This research was investigate depreciated reconstruction costs over time, developed in a digital model and implemented in application software directly in BIM environment. The possibility to monitor the depreciation dynamic over time, as a function of input parameters such as the service life, maintenance cost, or optimal periodicity of maintenance, will enable those involved in real estate management to plan both qualitatively and quantitatively, the costs of maintenance work, renovation or eventual demolition. Finally, the model has been applied to a real case study.

1. INTRODUCTION

The research carried out to date has pursued the goal of improving the operational stage of a building life cycle, in order to reduce the energy consumption of buildings (Rocka et al., 2018). However, maintenance and renovation costs, although representing a significant part of the total cost of the life cycle, were not taken into account. This omission is mainly due to the difficulties in the quantification of maintenance operations that are usually sporadic and unplanned. In Europe, the abundance of outdated and obsolete real estate asset, with its long life cycle and, at the same time, the low production rate of new buildings, has led the construction industry to show increased interest in the management of the maintenance and renovation of existing buildings (Volk et al., 2014).

The management of building maintenance is gaining increasing attention in scientific research, it carried out through building information modelling (BIM) allowing, in Facility Management (FM), the handling of a large volume of information, such as design documents, lists or maintenance specifications. BIM provides a means to generate, process and store implicit and explicit information about structures and maintenance operations, therefore providing a three-dimensional maintenance manual to include necessary information in the maintenance decision making-process (Alhassan et al., 2019).

The FM can be supported and facilitated by precise and

The FM can be supported and facilitated by precise and advance planning of the maintenance operations, which are performed at the level of each building component. These components can be linked to a specific stage of the management process and represent the state of the real estate asset at any exact moment. The digital model, which consists of a set of objects associated with specific information, such as the service life span, can be used to set priorities in maintenance, by automating the maintenance management process (Cecconi et al., 2019).

A study (Siniak et al., 2019) conducted in Ukraine on the state housing stock, which requires urgent maintenance and renovation, quantified the costs to be borne by the State. This study demonstrated that the use of BIM technology would save approximately $4 billion in design and $1 billion in construction phases. This study also highlighted the importance of the creation and use of BIM on an existing building, to inform the company involved in the real estate asset management, about the refurbishment program, the component quantity and the characteristics of the material to be maintained or replaced.

We propose a methodology to estimate the depreciated reconstruction costs of building components, directly within BIM. The main aim is to provide a support tool for those are involved in management of either part of, or the entire real estate asset. The automatic depreciation estimation has been carried out through an open source software: Dynamo. This extracts the information associated with each BIM element and then implements the algorithm for the calculation of reconstruction costs and depreciation factors, and finally determines the depreciated reconstruction cost.

The paper starts from the current background about the efforts, needs and goals to achieve in terms of increase on sustainability of built environment. The current diffusion, way of use, advantages and potentiality of BIM technologies, are analysed. Then specific considerations, about the correlation between depreciation and maintenance and theoretical explanation on the analytic calculation of the depreciation factors, are illustrated.

A detailed description of model and its different steps are provided. Two created versions of software application are detailed. A real case study of existing buildings and the results related to the methodology application are reported. Finally in the conclusion the results discussion and model potentiality, are set out.

2. BACKGROUND

In the last few years, the European Commission has implemented global policies to increase the energy efficiency of buildings, with the aim of introducing, by 2021, net zero-energy buildings (NZEB). Research showed that buildings, taking into account their entire life cycle (excavation, component production, transport, construction and end of life) are responsible for 50% of total energy consumption, 40% of total greenhouse gas emission, 50% of raw material extracted and one-third of water amount used in the European Union Energy consumption Budget (European Commission, 2019).

A priority objective of European government policies is, therefore, to increase the sustainability of the built environment, at economic, environmental and social levels.

Against this background, BIM represents one of the most relevant innovations to enable and improve building sustainability from design phase onwards (Santos et al., 2019; Olatunji and Sher, 2014).

Since 2003 in the United States, the use of BIM technology has become compulsory at design and construction phases of buildings and infrastructures financed by the State budget. As early as 2012, 70% of the operators in the US construction industry declared the use of BIM technology in their project; in the United Kingdom, in 2016, the figure was 54% and in Singapore, in 2015, it was 80% (Konyujhov et al., 2019).

In Italy, since 1 January 2019, the use of BIM is compulsory for public procurement with a budget equal o or exceeding EUR 100 million, and since 1 January 2025 for all new public works (DECRETO MINISTERIALE MIT n. 560 del 1/12/2017).

The use of BIM-based design in Public Contracts has risen by 27% in the period from 2017 to the end of 2018 (CRESME, 2019).

Several studies show that the use of BIM increases the savings in terms of building life cycle costs (Olatunji and Sher, 2014); in particular, in European Union countries the use of BIM in the design, construction and management phases generated an annual savings of 20% (Siniak *et al*., 2019). The real innovation of BIM methodology is that the model is not only a geometric representation of the building, but a virtual pre-reconstruction of the entire project. It is also a dynamic information model, since a building consist of various components that are not just separate physical entities, but are objects that relate to each other with different types of information (geometric, technological and financial, etc.) (Pozzoli et al., 2018) and whose entity can change over time. This allows the identification, in very early project stages, the optimum choice of design. Through BIM the construction phase can be separated into different steps, and possible eventual interferences can be identified, the necessary resources for execution of project can be optimised, productivity increased, execution time and risks associated to the construction phase are reduced. At the same time, the inherent multi-dimensionality of BIM facilitates the teamwork, greater sharing, collaboration and communication between different project stakeholders: clients, users, technicians and workers, etc.

To perform specific assessments on the life cycle, such as life cycle analysis (LCA), life cycle cost (LCC) and analysis of the structural behaviour, BIM-based software needs to be integrated with specific applications or plug-ins (Chong et al., 2017; Bueno et al., 2018, Oti et al., 2016).

Studies conducted on the BIM integration with LCA and

LCC (Santos *et al*., 2019; Fregonara et al., 2016), show that the above analysis can also be performed by different existing approaches, by using independent software, or in BIM environment directly but only after introducing specific semantic information necessary to the evaluation, or by linking a starting quantity, generated by BIM, with a LCC/LCA database to obtain both the environmental footprint and the costs of a project. The latter is currently the most widespread practice.

The ability to accurately and automatically quantify materials required from the BIM model allows a much more accurate cost estimate. This improves the efficiency of estimators during the calculation phase (Lee et al., 2014). The results can be subsequently uploaded, extending the database.

3. DEPRECIATION AND MAINTENANCE RELATIONSHIP

A research work on one of the largest residential building stocks of Hong Kong city that is 30-40 years old, estimated the cost that a company should expect related to the lacking or inadequate maintenance operations of buildings amounted to about 34% of city GDP (Yiu et al., 2007). The study demonstrated that a 10% reduction in the depreciation rate would save 14 % of GDP. This should be compared to a city-wide maintenance cost of just 2.3% of GDP. The research highlighted that maintenance operations planning provides benefits for owners, in terms of building performance improvement, a greater income capacity, increase of market value of property, and so benefit on entire community.

Cost-effectiveness of maintenance is a function of the market value of a building, which, in turns depends on factors that act on urban rent (Manganelli, 2013), and the evaluation of these factors can be difficult to carry out exactly. On the one hand, the changes in the social, economic and urban context and, on the other, the continuous technological advances related to the changing of aesthetic and functional needs, make the forecast of the potential market value of property very uncertain.

Cost-effectiveness of maintenance is a function of the cost of the maintenance. The cost should not to be considered in absolute value but relative to the direct and indirect benefits, such as greater utility and increase of market value. The maintenance intervention is most effective as the interval of time between two subsequent interventions (known as periodicity) is close to the optimum. The optimal periodicity depends on intrinsic and specific characteristics, for example material characteristics and how the component material is used. However, in reality, the lack of an efficient maintenance management model means that, for most of time, maintenance interventions are deferred. This delay causes an increase of the cost necessary for repairs in the long term, and a reduction of the facilities service life (Yasin et al., 2018).

A very strong relationship exists between depreciation and maintenance. Well-maintained properties show much lower depreciation rates than properties subject to poor maintenance (Knight and Sirmans, 1996).

This relationship is shown in the following graph (Fig. 1), based on that proposed by Neto and Belzega (1985). It demonstrates that the maintenance activity, related to modernisation and renovation interventions, is able to extend the useful life of the building.

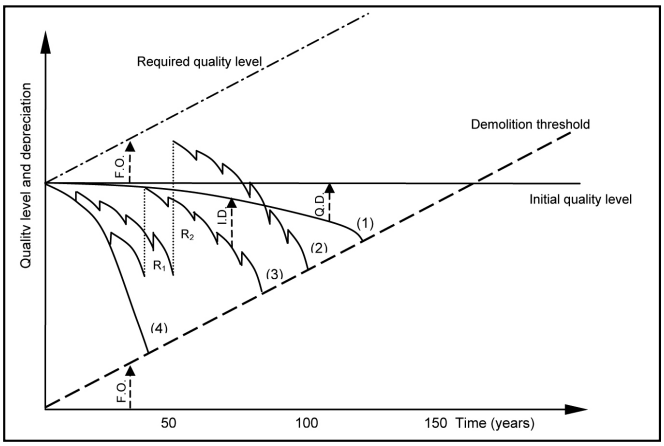


Figure 1 - *Quality level and Depreciation over time.*

Key:

F.O. Functional Obsolescence

I.D. Incurable Income Decay

Q.D. Quality Decay

The graph illustrates depreciation and the various factors that cause it: pure age, income decay and functional obsolescence. There are four possible scenarios describing the progress of depreciation over time, according to the implemented management strategy:

- *Curve 1*: Evolution with very frequent maintenance;
- *Curve 2*: Evolution with periodic maintenance with redevelopment and modernisation at R2;
- *Curve 3*: Evolution with periodic maintenance with redevelopment at R1, without modernisation;
- *Curve 4*: Evolution with no maintenance.

It should be noted that the refurbishment intervention aimed at achieving the modernization of the building enhances the quality level of building which otherwise would decay.

However, even when the maintenance is frequent (curve 1), the income decay and the physical wear, eventually reach the demolition threshold and thus predict a reduction in the building service life.

The same graph shows that the continuous growth of the quality standards resulting from material innovation and technology or on the other hand, poor compliance to new standards, even in the absence of income decay and physical wear, does not prevent the demolition threshold being reached.

4. ANALYTIC TREATMENT OF THE DEPRECIATION

In general, depreciation is the loss of value of a building asset, caused by various factors: pure age, income decay and obsolescence. The pure age and the income decay are two aspects of the same phenomenon: the physical wear. The following are the definition of such factors:

- *Pure age* (ΔC_{age}) is determined by the progressive reduction of the service life of an asset;
- *Income decay* (ΔC_{income}) is related to the lower utility value of an asset, already in use, compared to the corresponding new one;
- *Functional obsolescence* (ΔC_{sup}) is related to potential variations that occur in the design system, in the materials used or the poor compliance with new quality standards, or even simply to the introduction of innovative technologic systems that have much lower operational cost and, at same time, a greater efficiency.

The obsolescence, unlike the physical wear, does not vary in relation to the use, the action of the elements or the passing of the time; obsolescence could be instantaneous (Baum, 1993). It is possible to distinguish different categories of obsolescence: aesthetic, functional, legal and social obsolescence (Salway, 1986).

It is important to specify that, in this research work, reference is made to the depreciation about the reconstruction cost and so to its economic result: the depreciated reconstruction cost. The value of land and variation in land value over time, consequently, are excluded here. The depreciation represents the reduction to be applied to the building reconstruction or replacement costs only, in relation to the passage of time; for this reason, it is not connected to the market value of real estate, the urban rent and variable factors that determine urban rent such as supply and demand.

The estimate of the depreciated reconstruction cost and the depreciation factors is carried out by the model shown by Manganelli (2011). The equations to calculate the depreciation factors, ΔC_{age}, ΔC_{income}, ΔC_{sup} respectively, are as follows:

$$\Delta C_{dlog} = (C_0 - V_r)\frac{(1-i)^n - 1}{(1-i)^v - 1} \quad (1)$$

$$\Delta C_{dred} = C_0 \cdot m\frac{(1-i)^n - 1}{(1-i)^s - 1} \quad (2)$$

$$\Delta C_{sup} = U \cdot \frac{(1+i)^u - 1}{i} \cdot \frac{1}{(1+i)^u} - S_p \quad (3)$$

Where:

n: age at the time of estimation = estimate year - year of construction;

s: optimal frequency of maintenance;

m: maintenance costs, expressed as a percentage of the construction cost as new (Co);

v: useful life of the element (service life);

V_r: recovery value at the end of the useful life;

i: interest rate, equal to a risk-free commercial interest rate;

U: lower annual expenditure or greater benefits from the use of a new system;

u: residual service life of the obsolete system ;

S_p: the cost of replacing the old system with a new one (uninstallation and installation).

The contribution of functional obsolescence, for depreciation estimation purposes, was not taken into account in equation no. 3 directly, due to the numerous variables involved. It has been taken into account empirically.

The functional obsolescence involves the zeroing of the economic value of the element before the end of its service life. For the calculation of depreciation by physical wear, it was necessary to replace useful service life with the economic life. For this aim, the concept of the useful economic life was introduced. In this period, the element is used because it constitutes the least expensive option with respect to its intended use.

However, in practice, for the most part of the building elements, such as, structures, finishes, etc. the functional obsolescence is negligible; but it is of particular importance for the systems (Manganelli, 1997).

5. THE CONCEPTUAL FRAMEWORK

This research work has developed a model aimed to estimate depreciation in a rational way. The building has been reduced to its functional elements and the corresponding parameters (service life, economic life, optimal periodicity, cost of maintenance, etc.) have been defined. For each functional element, the depreciation has been estimated using the corresponding depreciation factors.

The main innovation of this research work is the addition of a new dimension in the assets management model and thus, in BIM methodology (Fig. 2).

In order to automate the estimation of the depreciation, the conceptual flow of the steps has been constructed

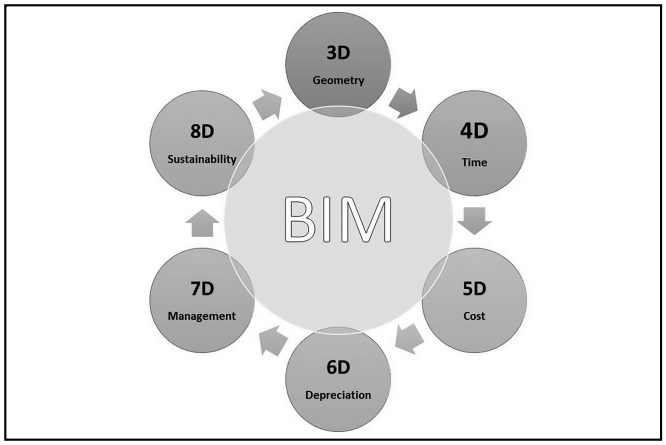


Figure 2 - *BIM n-dimensions.*

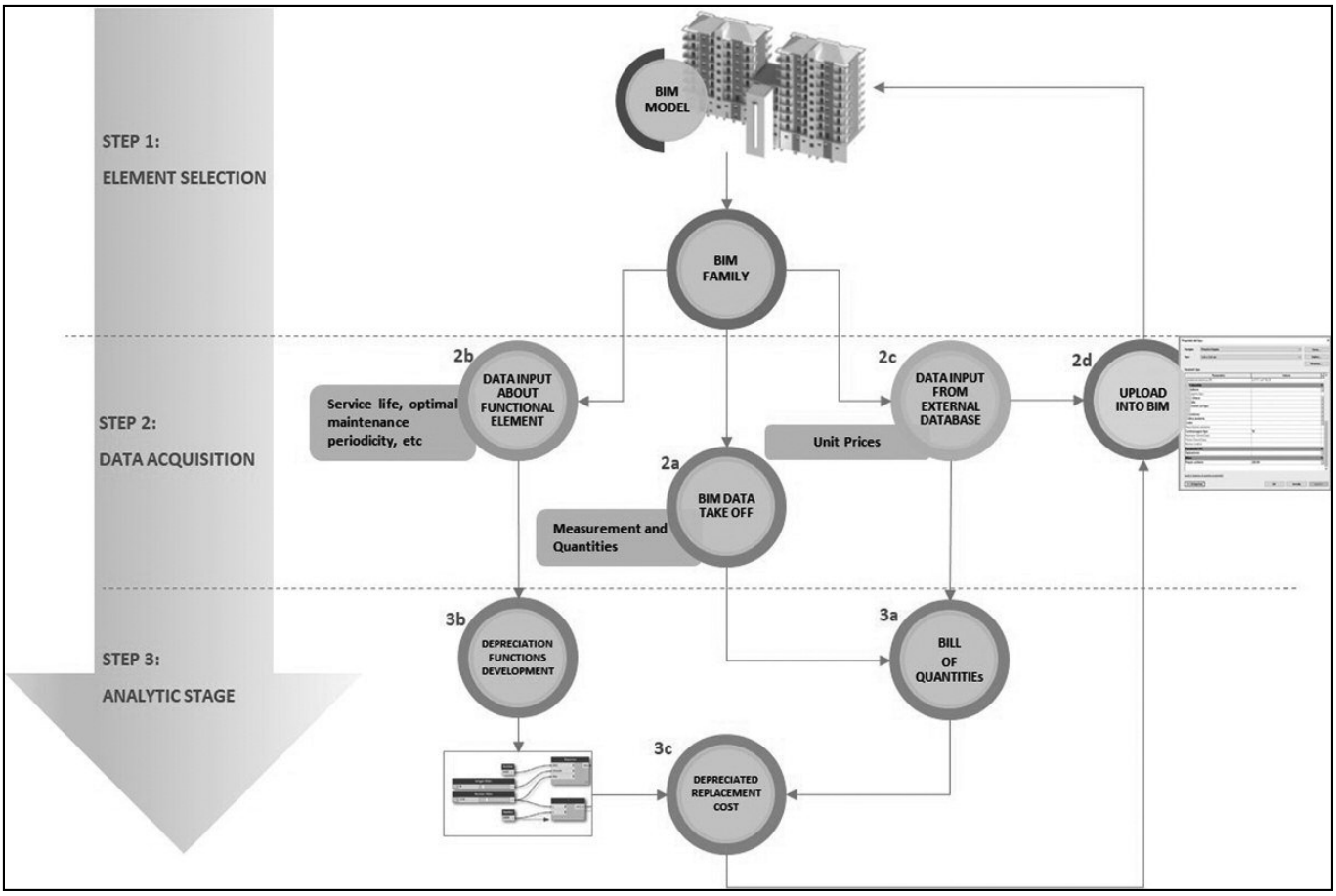


Figure 3 - *Conceptual Framework.*

(Fig. 3). In practice, the different estimation steps have been defined in logical sequences necessary for the development of an algorithm implemented through an application within BIM directly.

The BIM model of the case study, created using Autodesk Revit software, allows the separation of each element (object) (STEP 1a), easily: floor, roof, wall, etc. in order to identify all construction components and the related items of bill of quantities. To each element has been associated the measurements, or quantities, in an appropriate dimension: length, surface, volume, weight, etc. This data is provided by the 3D BIM Model and can be extracted from it, quickly and easily, in the form of a table (STEP 2a).

The data acquisition (STEP 2), necessary to the development of the subsequent analysis, is partly automatic because some data is contained in the BIM model (STEP 2a), while the input of new information (STEP 2b, STEP 2c). May be required. For examples, from a specific external database, such as regional or national price lists, the unit price can be associated to each element (STEP 2d) and so to the corresponding item of the bill of quantities (STEP 2c).

This latter information is necessary in order to generate, automatically, the cost value and then the bill of quantities (STEP 3b).

The individual items of the bill of quantities must be associated with the categories of functional elements to which they belong, for examples: structures, finishes, etc. This classification groups all those elements together that have compatible technological functions.

Each of these above categories can also be subdivided further, into functional subcategories: for example, hydraulic, electric, etc.

This classification is a preliminary and fundamental step for the assignment of parameters (STEP 2b) that characterize the different functional elements (Manganelli, 2014; Del Giudice et al., 2016), for the calculation of the depreciation factors (STEP 3a) and then for the estimate of the depreciated reconstruction cost (STEP 3c).

The depreciation functions are different in relation to the functional elements; the equation describing the various factors, although has the same form, assume different configurations because the input data, characterizing the various functional elements, are different.

In table 1, the input data are listed.

Table 1 - *Functional element inputs*

Input data of functional element
Age at the time of estimation
Time of the replacement intervention
Time of intervention of special maintenance
Optimal frequency of maintenance (s)
Maintenance cost
Service life (v)
Residual Value (Vr)
Interest rate (i)

6. THE SOFTWARE

The algorithm, that allows the estimation of the depreciated reconstruction cost automatically, has been developed through Dynamo (Autodesk Inc.). Dynamo can operate as independent software or as plug-in. Here, it has been used as plug-in for Revit. The potentiality of this application software is the ability of managing and combining large amount of data, already contained in the Revit model or entered from an external database (Röcka et al., 2018; Sadeghi et al., 2019).

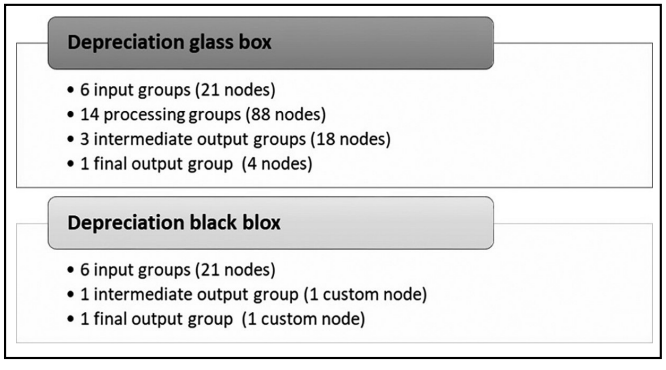


Figure 4 - *Structure of application versions.*

It is a BIM application based on the visual programming concept. The advantage, of it, is the software interface, which provides to the designers programming tools, rather than having to write the code script (Alhassan et al., 2019).

Dynamo's architecture is based on only two elements: nodes and wires. The predefined nodes, that are programmed using Pyton programming language, enable one to perform different types of functions and they are connected to each other through wires, which represent their relationship. Thereby the designer, without knowing the programming language, can code easily, focusing only on information flow.

Two application versions have been created:

Extended version, named "*depreciation gb*" (glass box); it permits precise control over the operation of the application due to the ability to display and so identify any errors.

Compact version, named "*depreciation bb*" (black box),designed for a more practical use. Unlike the first it consists of a reduced number of nodes, or better, just part of the nodes are displayed. In practice, the displayed nodes are the ones that allow user input, while the hidden nodes control processing and output.

Below, the detailed characteristics of the two application versions (Fig. 4) and the depreciation bb version (Fig. 5) are illustrated.

7. THE CASE STUDY AND THE RESULTS

The case study is an existing building complex consisting of four distinct and adjacent buildings, designed and built from the end of the 1960s to beginning of 1970s. The buildings are located near the town centre.

The estimation of the depreciated reconstruction cost and its extent, and the entity of the refurbishment intervention as a consequence, represents the preliminary phase in the decision making process, aimed to enable choice in a rational way between alternative solutions and, consequently to identify the most cost-effective solution.

Very high depreciation rates could negate any final benefit, in terms of an increase of market value of property resulting from a refurbishment intervention, due to the heavy costs to carry on the same intervention; in which case, it is referred to as *incurable depreciation* (Manganelli, 2011).

The BIM model based on an existing building (Fig. 6) has been built using a geometric survey and collection of relevant information. The characteristics of the functional elements, of which the building is composed, have been determined.

The reconstruction cost of the building has been calculated in accordance to the estimation method of functional elements. It is a so-called "mixed estimation procedure", based on the comparison between the case study, of which the reconstruction cost should be determined, and the

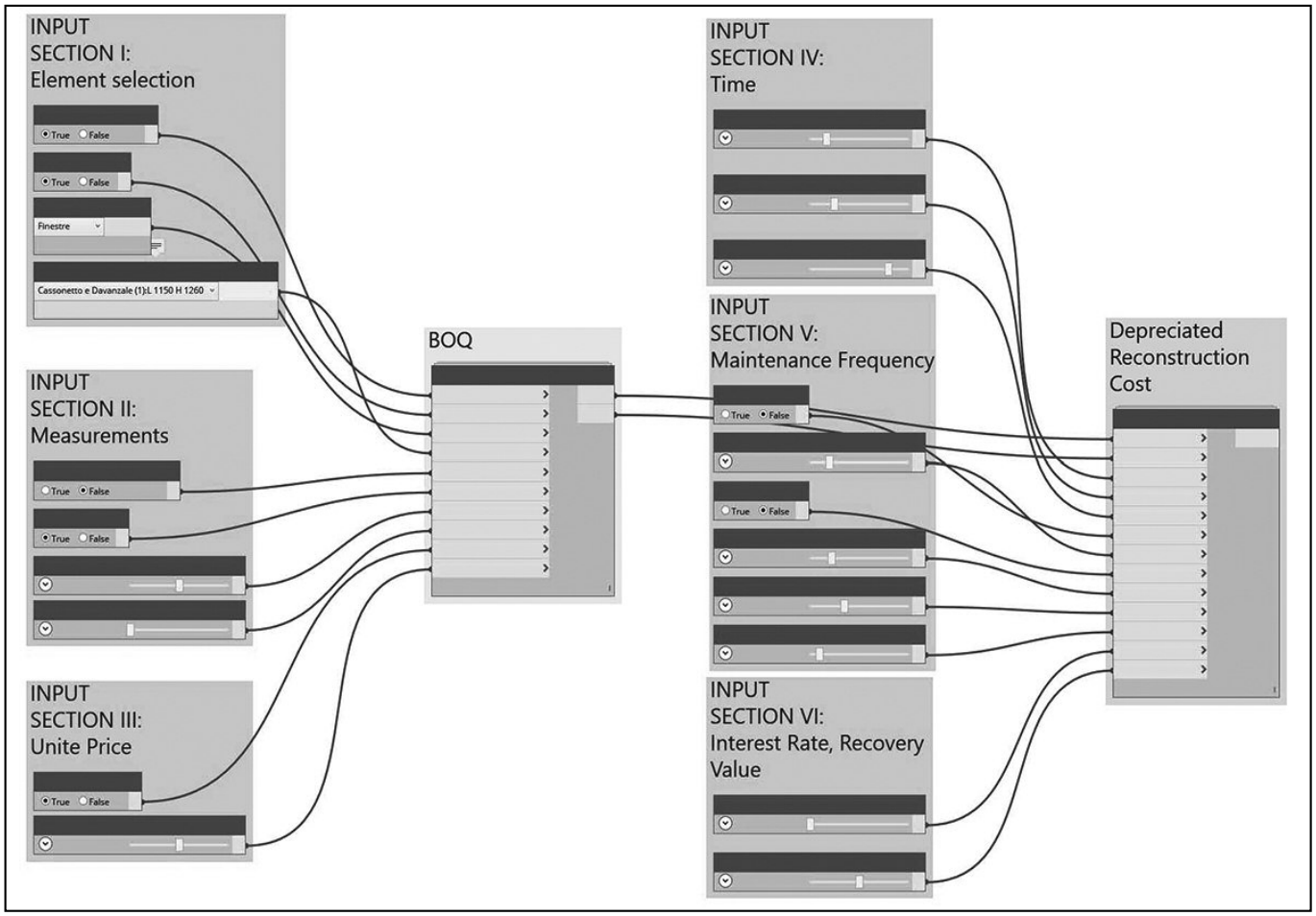


Figure 5 - *Depreciation black box.*

comparable buildings of which the cost is known. The comparable building must be analogous to the one used in the case study, in terms of category, technologic characteristics, quality level, etc. The comparable building, taken from a national database (Prezzi Tipologie Edilizie, 2014), is a multilevel residential building with a cheap quality level.

It has been deconstructed into functional elements and their construction components (works) necessary to obtain them. Moreover, in order to obtain a complete estimation of the costs, the item of *excavation and infill soil*, to which no functional element is associated (intended as object of the 3D building model), has been taken into account. However, it is subject to the depreciation and contributes, amongst other functional elements to the depreciated replacement cost of the building.

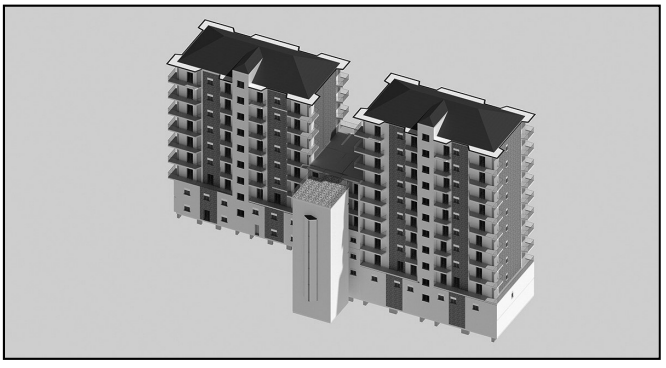


Figure 6 - *BIM MODEL of Case study.*

The total cost has been expressed in accordance with the functional elements and the corresponding percentages, both in terms of unit value and surface value. In order to obtain the reconstruction cost of the case study, such percentages, through appropriate coefficients, representative of the difference in terms of costs related to the difference between the buildings in terms of typology and technology, have been adjusted. Then, the reconstruction cost of each functional element (Table 2) and the unit price of each component have been obtained.

Finally, the model has been applied to the case study to obtain the depreciated reconstruction cost appropriate to two opposite scenarios about the maintenance management.

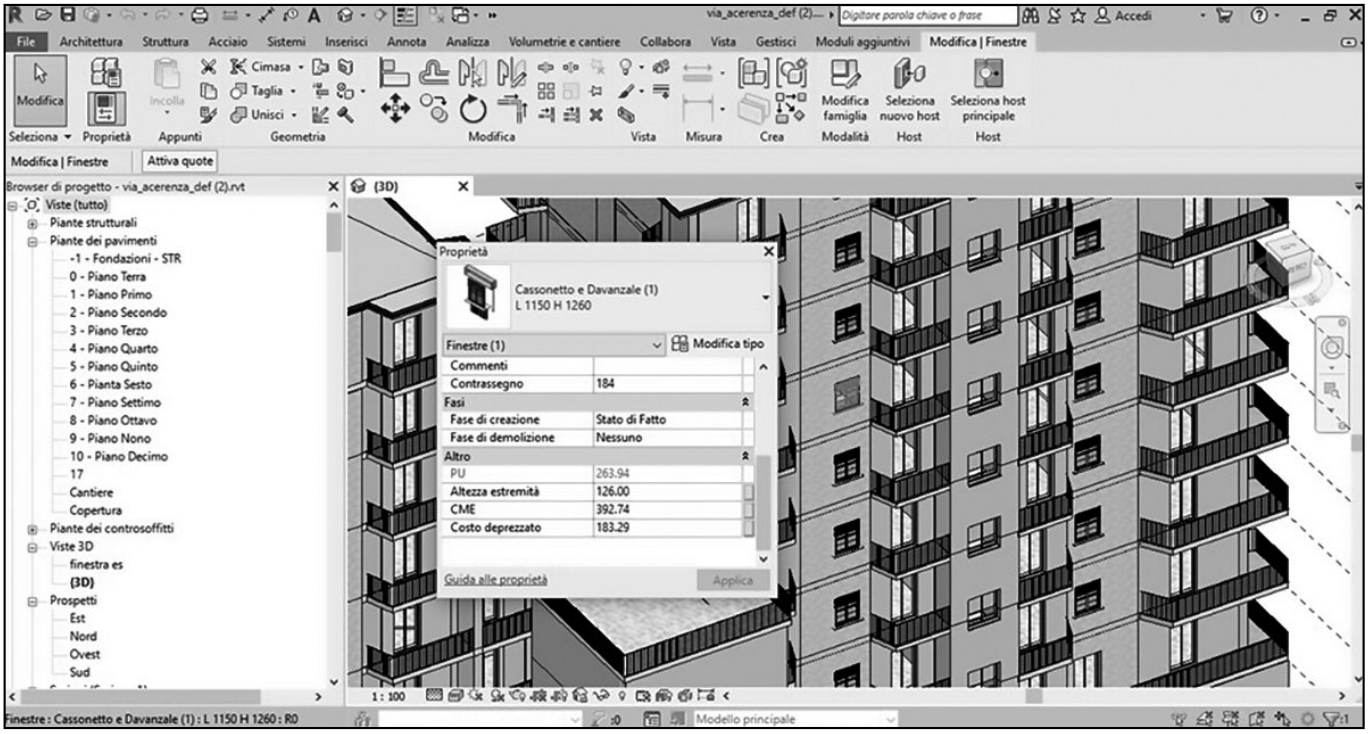


Figure 7 - *Element property*.

The depreciation information characterizes each object of the 3D-model (Fig. 7). It shows the depreciated reconstruction cost at any precise time. Therefore, it can be updated at any time over the service life of the building or of its component.

The parameters for the calculation of the depreciation factors (economic life, service life, optimal periodicity, maintenance cost, residual value, etc.) have been derived from a study of a real building stock with similar characteristics to the case study (Manganelli, 2011).

Table 2 - *Functional elements estimation*

	COMPARABLE BUILDING				CASE STUDY BUILDING		
n.	Works	Construction Cost [€]	Percentage [%]	Unit Cost [€/m²]	Coefficients	Adjusted Unit Cost [€/m²]	Construction Cost [€]
1	Excavation and infill soil	52,690.00	1.75%	16.55	1.00	16.55	117252.96
2	Reinforced concrete structures	914,987.00	30.37%	287.37	1.15	330.48	2341576.60
3	Crawlspaces,concrete screed, floorcover	155,632.00	5.17%	48.88	0.82	40.01	283469.39
4	Insulations and waterproofing	34,401.00	1.14%	10.80	1	10.80	76553.79
5	External and partition walls	214,246.00	7.11%	67.29	1.03	69.12	489741.12
6	Smoothing layers, plasters, paintwork	223,130.00	7.41%	70.08	1.00	70.08	496539.23
7	Pipes and sewages	28,219.00	0.94%	8.86	1	8.86	62796.76
8	Coverings and skirtings	101,809.00	3.38%	31.98	1.20	38.24	270944.11
9	Roofing and tinsmithery	121,407.00	4.03%	38.13	1	38.13	270171.37
10	Iron structures and components	324,068.00	10.76%	101.78	0.1	10.18	72116.02
11	Heating system	157,810.00	5.24%	49.56	1	49.56	351180.28
12	Water-sanitary system, sprinkler system	322,066.00	10.69%	101.15	0.5	50.58	358352.54
13	Electrical system	152,325.00	5.06%	47.84	0.5	23.92	169487.16
14	Elevators	78,556.00	2.61%	24.67	1	24.67	174813.50
15	Facade finishes and Windows	100,417.00	3.33%	31.54	1.24	39.18	277619.12
16	External ground	30,830.00	1.02%	9.68	0.5	4.84	34303.56
	COSTO TOTALE	3,012,593.00	100.00%	946.17		825.20	5846917.49

Table 3 - *Depreciated reconstruction cost*

n.	Works	Construction Cost [€]	Depreciated construction cost (scenario 1) [€]	Depreciated construction cost (scenario 2) [€]
1	Excavation and infill soil	117252.96	2345.06	51356.80
2	Reinforced concrete structures	2341576.60	46831.53	1025610.55
3	Crawlspaces,concrete screed, floorcover	283469.39	22677.55	124159.59
4	Insulations and waterproofing	76553.79	0.00	43252.89
5	External and partition walls	489741.12	352148.38	361830.83
6	Smoothing layers, plasters, paintwork	496539.23	0.00	128355.39
7	Pipes and sewages	62796.76	0.00	0.00
8	Coverings and skirtings	270944.11	0.00	0.00
9	Roofing and tinsmithery	270171.37	0.00	153997.68
10	Iron structures and components	72116.02	0.00	33894.53
11	Heating system	351180.28	0.00	0.00
12	Water-sanitary system, sprinkler system	358352.54	0.00	0.00
13	Electrical system	169487.16	0.00	0.00
14	Elevators	174813.50	0.00	40207.10
15	Facade finishes	138809.56	0.00	71764.54
16	Windows	138809.56	0.00	3983.83
17	External ground	34303.56	6860.71	6860.71
	COSTO TOTALE	5846917.49	430863.23	2045274.45
	COSTO TOTALE/mq	825.20	60.81	288.66

In new buildings these parameters will be provide by the designer.

The first scenario has been derived with the assumption that during the time interval, from the construction stage (1970) to estimation time (2019), no maintenance intervention or replacement has been carried out; while in the second scenario, the building has been subjected to regular maintenance and, at least one extraordinary maintenance (or special maintenance) or replacement (Table 3).

The histograms (Figg. 8a - 8b), show the percentage depreciation rate calculated for each of the functional elements with respect to two considered scenarios. From the com-

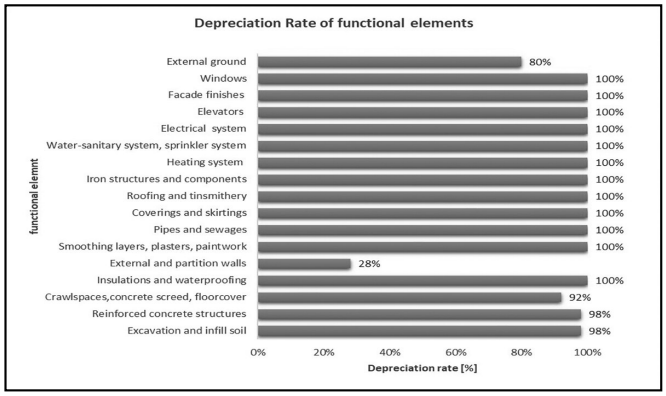


Figure 8a - *The Depreciation Rate of functional elements at scenario of no maintenance.*

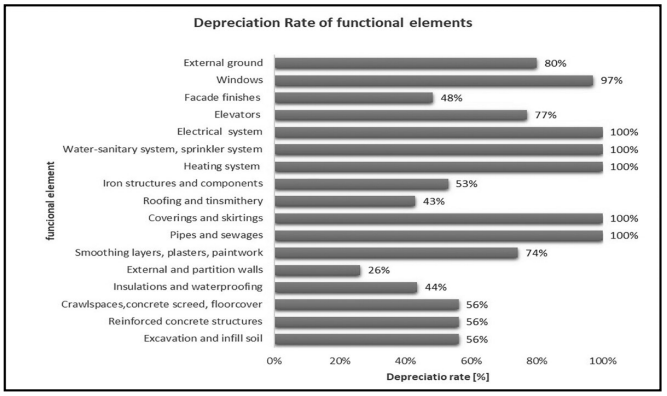


Figure 8b - *The Depreciation Rate of functional elements with maintenance.*

parison between the two scenarios, is clear that the active maintenance management, with programmed interventions over time, produces much lower depreciation rates. However, for some elements in both scenarios, such as the systems, 100% depreciation rates have been shown, due to functional obsolescence.

8. CONCLUSION

The direct estimation of the depreciated reconstruction cost can be carried out within a BIM environment. The depreciation information becomes a new property of each object in the BIM model. It states the depreciated reconstruction cost at a precise time. Therefore, it can be updated at any time over the service life of the building or of its components. This work, through the introduction of a new information, the depreciation, represents a step forward in the research studies about BIM-based management models of assets.

The provided model represents a very easy and effective tool to support all those who are involved in the maintenance management of real estate assets. The possibility of monitoring the depreciation dynamic, in real time, enables informed choice about frequency and extent of various maintenance interventions. The depreciation knowledge alongside a building component's maintenance plan, allows identifying and planning the maintenance strategy in a rational way, on the basis of an hierarchical organization of the functional elements. It follows the sequence of the different maintenance interventions, moving from one functional element to another, in a preferential direction: from those are at the top of hierarchy to the others that are in subordinate position, in order to maximize the cost-effectiveness of the maintenance interventions.

Infact, from the comparison between the two scenarios of the case study, is clear that the active maintenance management, with programmed interventions over time, produces much lower depreciation rates. Moreover, the difference between the refurbishment costs needed to bring the building to the same acceptable conditions of efficiency, starting from two outlined scenarios of depreciation, will be far greater than the difference between the maintenance costs incurred in the two scenarios.

Usually, this difference could move the building from a condition of *curable depreciation* to *incurable depreciation*.

These issues prove the high convenience of maintenance over the useful service life of components with an optimal frequency.

The application software can be a helpful tool for private and public companies to rapidly provide the depreciated reconstruction cost of a building asset when it is required to provide the real estate asset value for the balance sheet.

* **Benedetto Manganelli**, *School of Engineering, University of Basilicata, Potenza, Italy*
e-mail: *benedetto.manganelli@unibas.it*

** **Sabina Tataranna,** *School of Engineering, University of Basilicata, Potenza, Italy*
e-mail: *sabina.tataranna@unibas.it*

Bibliography

Alhassan B.M., Younes J., Jrad O. F., *Enhancing Public Buildings Maintenance Using Integration Between Knowledge*, 2019.

Baum A. E., *Quality, Depreciation and Property Performance*, *The Journal of Real Estate Research*, Vol. 8, n. 4, 1993, pp. 541-565.

Bueno C., Fabricio M.M., *Comparative analysis between a complete LCA study and results from a BIM-LCA plug-in*, Automation in Construction, n. 90, 2018, pp. 188-200.

Cecconi F.R., Moretti N., Maltese S., Tagliabue L.C., *A BIM-Based Decision Support System for Building Maintenance*, Advances in Informatics and Computing in Civil and Construction Engineering, Ivan Mutis Timo Hartmann Editors, 2019, pp. 371-378.

Chong H.Y., Lee C.Y., Wang X., *A mixed review of the adoption of Building Information Modelling*, Journal of Cleaner Production, n. 142, 2017, pp. 4114-4126.

Cresme, CNAPPC, *"BIM-MONITORING", 2019.*

Decreto Ministeriale MIT n. 560 del 1 dicembre 2017.

Del Giudice V., Manganelli B., *Depreciation method for firm's assets*, 16th International Conference of Computational Science and Its Applications, ICCSA LNCS, Vol. 9788, Springer, 2016, pp. 214-227.

European Commission, *Level (s) Taking action on the total impact of the construction sector, 2019.*

Fregonara E., Giordano R., Rolando D., Tulliani J.M., *Integrating Environmental and Economic Sustainability in New Building Construction and Retrofits*, Journal of Urban Technology, 2016. DOI: 10.1080/10630732.2016.1157941

Knight J.R., Sirmans C.F., *Depreciation, Maintenance, and Housing Prices*, Journal of Housing Economics, 1996, pp. 369-389.

Konyukhov V.Y., Radionova E.A., Zott R.S., Konovalov P.N., *Improving the Methods of Real Estate Operation Based on BIM-Technologies. Advances in Social Science*, Education and Humanities Research, Vol. 333, 2019.

Lee S., Kim K., Yu. J., *BIM and ontology-based approach for building cost estimation*, Automation in Construction, n. 41, 2014, pp. 96-105.

Manganelli B., Morano P., *Un modello razionale di stima del deprezzamento di macchine industriali*, Quaderni del Dipartimento Patrimonio Architettonico e Urbanistico dell'Università di Mediterranea di Reggio Calabria, Gangemi Editore, Roma, 1997, pp. 13-14.

Manganelli B., (a cura di). *Il deprezzamento degli immobili urbani*, Franco Angeli, Milano, 2011.

Manganelli B., *Maintenance, building depreciation and land rent*, 3rd International Conference on Civil Engineering, Architecture and Bulding Materials CEABM, Applied Mechanics and Materials, Vol. 357- 360, 2013, pp. 2207-2214.

Manganelli B., *Economic life prediction of concrete structure*, 4th International Conference on Structures and Building Materials, ICSBM, Advanced Materials Research, Vol. 919-921, 2014, pp. 1447-1450.

Neto F.S., Belzega. A., *Custo e rentabilidade das intervencoes*. Lisboa, L.N.E.C., 1985.

Olatunji O.A., Sher W., *Perspective on Modeling BIM-enable Estimating Practices*, Australian Journal of Construction Economics and Building, 2014.

Oti A.H., Tizani W., Abanda F.H., Jaly-Zada A., Tah J.H.M., *Structural sustainability appraisal in BIM*, Automation in Construction, n. 69, 2016, pp. 44-58.

Pozzoli S., Bonazza M., Villa W.S., *Autodesk Revit per l'Architettura, Guida completa per la progettazione BIM,* Autodesk, 2018.

Prezzi Tipologie Edilizie, DEI Tipografia del genio civile, 2014.

Röck M., Hollberg A., Habert G., Passer A., *LCA and BIM: Visualization of environmental potentials in building*, Building and Environment, n. 140, 2018, pp. 153-161.

Sadeghi M., Elliott J.W., Porro N., Strong K., *Developing Building Information Models (BIM) for Building Handover, Operation and Maintenance*, Journal of Facilities Management, Vol. 17, n. 3, 2019, pp. 301-316.

Salway F., *Depreciation of Commercial Property*, Reading U.K. CALUS, 1986.

Santos R., Costa A.A., Silvestre J.D., Pyl L., *Integration of LCA and LCC analysis within a BIM-based environment*, Automation in Construction, 2019.

Siniak N., róbek S., Nikolaiev V., Shavrov S., *Building Information Modeling for housing renovation - example for Ukraine*, Real Estate Management and Valuation, Vol. 27, n. 2, 2019.

Volk R., Stengel J., Schultmann F., *Building Information Modeling (BIM) for existing buildings – literature review and future needs*, Automation in Construction, n. 38, 2014, pp.109-127.

Yasin M.N., Mohamad Zin R., Hamid M.Y., Zakaria M.A., Deraman R., *Deferred maintenance of buildings: A review paper*, 10th Asia Pacific Structural Engineering and Construction Conference, 2018.

Yiu, C. Y., *Building depreciation and sustainable development*, Journal of Building Appraisal, n. 3, 2007, pp. 97-103.

Un nuovo software per la stima del costo di riproduzione deprezzato implementato in ambiente BIM

Benedetto Manganelli, Sabina Tataranna***

parole chiave: Building Information Modeling, Facility Management, manutenzione, valore di costo, deprezzamento

Abstract

La manutenzione, il rinnovo e l'eventuale demolizione, sono responsabili di un'aliquota importante dei costi sociali e finanziari di un edificio. La gestione ottimale e razionale di tali fasi è questione prioritaria al fine di favorire la sostenibilità economica ed ambientale del processo edilizio. Il mondo della ricerca e le organizzazioni governative stanno mostrando elevato interesse nell'uso delle tecnologie e strumenti basati sul BIM che consentono di archiviare, combinare e gestire elevate quantità di dati. La stima dei costi di produzione, ricostruzione o manutenzione da sostenere durante l'intero ciclo di vita può essere condotta attraverso il BIM in modo automatico. Il presente lavoro di ricerca ha esaminato i costi di ricostruzione deprezzati nel tempo, sviluppato in un modello digitale e implementato in un software applicativo direttamente in ambiente BIM. La possibilità di monitorare la dinamica del deprezzamento nel tempo, in funzione dei parametri di input ad esso connessi quali la vita in servizio, il costo della manutenzione, e la frequenza ottimale della manutenzione, consentirà a coloro che sono coinvolti nella gestione patrimoniale, di pianificare, qualitativamente e quantitativamente, gli interventi di manutenzione, rinnovo o l'eventuale demolizione. Il modello è stato poi applicato ad un caso studio reale.

1. INTRODUZIONE

Le ricerche disponibili in letteratura hanno finora perseguito l'obiettivo di migliorare la fase di operatività del ciclo di vita dell'edificio al fine di ridurre il consumo di energetico del patrimonio edilizio (Rock et al., 2018).

D'altra parte, i costi relativi alle fasi di manutenzione e di retrofit, sebbene costituiscano un'aliquota rilevante del costo totale del ciclo di vita, sono stati spesso trascurati. Tale mancanza è legata alla difficile quantificazione di tali operazioni di manutenzione che sono effettuate in maniera sporadica e non pianificata durante la vita di servizio dell'edificio. In Europa, l'elevata quantità di beni immobili vetusti e obsoleti, caratterizzati da lunghi cicli di vita e, simultaneamente, dei bassi tassi di nuove costruzioni, ha portato l'industria delle costruzioni a mostrare crescente interesse verso le attività di gestione della manutenzione o di retrofit degli edifici esistenti (Volk et al., 2014).

La gestione della manutenzione degli edifici sta guadagnando una crescente attenzione anche nella ricerca scientifica e viene condotta attraverso la modellazione delle informazioni sugli edifici (BIM) consentendo, nell'attività di Facility Management (FM), la gestione di un ampio volume di informazioni come disegni, report e specifiche sulla manutenzione. L'adozione del BIM consente di generare, elaborare e archiviare le informazioni implicite ed esplicite delle strutture e degli interventi di manutenzione ovvero un manuale di manutenzione tridimensionale che include tutte le cono-

scenze necessarie al processo decisionale della manutenzione (Alhassan et al., 2019).

La FM degli edifici può essere supportata e favorita da una corretta pianificazione preliminare delle operazioni di manutenzione, da eseguire a livello dei diversi componenti che costituiscono l'edificio. Tali oggetti costituenti l'edificio possono essere collegati a una fase specifica del processo di gestione rappresentando in tal modo lo stato dell'asset in un determinato istante temporale. Il modello digitale, definito da un insieme di oggetti a cui sono associate informazioni come la durata dei componenti dell'edificio, può quindi essere utilizzato per stabilire le priorità di manutenzione, automatizzando il processo di gestione della manutenzione (Cecconi et al., 2019).

Uno studio (Siniak et al., 2019), condotto in Ucraina sul patrimonio residenziale statale che richiede interventi di manutenzione e di rinnovo urgenti, ha quantificato i costi associati a tali operazioni, che dovranno essere sostenuti dallo Stato. Lo studio ha dimostrando che l'utilizzo della tecnologia BIM consentirà di risparmiare fino 4 miliardi di dollari in progettazione e circa 1 miliardo di dollari sulla costruzione. Lo stesso studio ha evidenziato l'importanza dell'esistenza di un modello informativo degli edifici esistenti, che informi la società incaricata della gestione del bene circa il programma dei lavori di ristrutturazione, le caratteristiche e le quantità dei materiali o dei componenti da manutenere e/o sostituire.

Questo contributo propone una metodologia che consente di effettuare la stima del costo di costruzione deprezzato delle componenti di un edificio direttamente in ambiente BIM. L'obiettivo è fornire uno strumento di supporto per coloro che sono impegnati nella fase di gestione di interi asset immobiliari o di parte di essi. La stima automatica del deprezzamento è condotta attraverso un software open source, Dynamo. Esso estrae le informazioni associate a ciascun elemento del modello BIM e implementa l'algoritmo di calcolo del costo di costruzione e dei fattori del deprezzamento e alla fine restituisce il costo di costruzione deprezzato.

Il lavoro parte da una fotografia del contesto attuale circa gli sforzi, le necessità, gli obiettivi da raggiungere in termini di incremento della sostenibilità dell'ambiente costruito. L'attuale diffusione, modalità d'uso attuali, vantaggi e potenzialità delle tecnologie BIM sono analizzate. Successivamente vengono illustrate le considerazioni specifiche circa la correlazione tra il deprezzamento e le fasi di manutenzione, ed è illustrata la trattazione teorica circa il calcolo analitico dei fattori del deprezzamento.

Viene poi fornita una descrizione dettagliata del modello e dei diversi step che lo costituiscono. Le due versioni applicative del software create sono illustrate nel dettaglio. Inoltre un caso studio di un complesso edilizio esistente e relativi risultati dell'applicazione della metodologia di calcolo, sono riportati. Infine le conclusioni con la discussione dei risultati conseguiti e le potenzialità.

2. BACKGROUND

Negli ultimi decenni la Commissione Europea ha messo in atto politiche globali volte a incrementare l'efficienza energetica degli edifici, con l'obiettivo di introdurre, entro il 2021, edifici a energia quasi zero. Dalle ricerche emerge che gli edifici, tenuto conto del loro intero ciclo di vita (estrazione, produzione, trasporto, costruzione e fine vita) sono responsabili del 50% di tutto il consumo di energia, 40% di tutte le emissioni di gas serra, 50% dell'estrazione delle materie prime e un terzo di tutto l'uso dell'acqua (European Commission, 2019).

Uno degli obiettivi prioritari delle politiche governative europee è perciò quello di incrementare la sostenibilità dell'ambiente costruito a livello economico, ambientale e sociale.

In questo contesto il BIM rappresenta una delle più rilevanti innovazioni nella direzione di un miglioramento della sostenibilità già a partire dalla progettazione degli edifici (Santos et al., 2019; Olatunji e Sher, 2014).

Negli Stati Uniti dal 2003 l'uso della tecnologia BIM è diventata obbligatoria nella fase di progettazione e costruzione delle opere e delle infrastrutture a spese del bilancio statale. Già nel 2012 il 70% degli operatori statunitensi del settore delle costruzioni ha dichiarato di utilizzare il BIM nei propri progetti; nel Regno Unito, nel 2016, la percentuale si attesta intorno al 54% e a Singapore nel 2015 è dell'80% (Konyujhov et al., 2019).

In Italia, dal primo gennaio 2019, negli appalti pubblici l'uso del BIM è obbligatorio per le opere pubbliche di importo a base gara pari o superiore a 100 milioni di euro, e dal primo gennaio del 2025 diventerà obbligatorio per tutte le nuove opere pubbliche (DECRETO MINISTERIALE MIT n. 560 del 1/12/2017). Attualmente il trend del valore delle gare di appalto di progettazione in BIM è crescente, con un incremento dal 2017 a fine 2018 del 27% (CRESME, 2019).

Molteplici studi dimostrano che l'uso del BIM incrementa il risparmio sui costi del ciclo di vita di un edificio (Olatunji e Sher, 2014); in particolare nei paesi dell'Unione Europea l'uso delle tecnologie BIM nelle fasi di progettazione, costruzione e gestione delle strutture ha fornito un risparmio annuale pari a circa il 20% (Siniak et al., 2019). La vera innovazione dell'approccio BIM è che il modello non è solo una rappresentazione geometrica dell'edificio ma è una ricostruzione virtuale del progetto ovvero una precostruzione. Si tratta di un modello informativo digitale dinamico, in quanto gli oggetti che costituiscono l'edificio non sono solo delle semplici geometrie ma sono oggetti in grado di relazionarsi tra loro, a cui sono associate diversi tipi di informazioni (geometriche, tecnologiche, finanziarie, etc.) (Pozzoli et al., 2018), le cui entità possono variare nel tempo.

Questo consente di selezionare, in fase iniziale di progetto, l'alternativa progettuale ottimale. Attraverso il BIM è possibile discretizzare i molteplici step della fase di costruzione, le eventuali interferenze al fine di ottimizzare le risorse necessarie alla realizzazione del progetto, incrementando

la produttività e riducendo i tempi di esecuzione e quindi i rischi associati alla realizzazione della costruzione.

L'insita multidimensionalità del BIM favorisce nel contempo il lavoro di squadra, una maggiore condivisione, collaborazione e comunicazione tra tutti i partecipanti al processo: clienti, utenti, tecnici, lavoratori, etc.

Per poter effettuare valutazioni specifiche sul ciclo di vita, come l'analisi del ciclo di vita (LCA) o sui costi del ciclo di vita (LCC) o ancora analisi del comportamento strutturale, i software basati sul BIM richiedono di essere integrati con altri applicativi specifici o plug-in (Chong et al., 2017; Bueno et al., 2018, Oti et al., 2016). Gli studi condotti sull'integrazione BIM con LCA e LCC (Santos et al., 2019; Fregonara et al., 2016), mostrano l'esistenza di diversi approcci per poter eseguire le suddette analisi: utilizzando software indipendenti, direttamente nel BIM previo inserimento delle informazioni semantiche specifiche necessarie alla valutazione o in ultimo collegando una quantità di partenza generata dal modello BIM con un database LCA/LCC per ottenere rispettivamente gli impatti e i costi di un progetto. Quest'ultima è certamente la pratica maggiormente diffusa.

La possibilità di poter estrarre le quantità dei materiali a partire dal modello in modo diretto e automatico, consente di poter pervenire a stime dei costi molto più accurate. Questo migliora l'efficienza degli stimatori durante la fase di calcolo (Lee et al., 2014). I risultati possono successivamente essere reintegrati, ampliando, in tal modo, il database informativo.

3. MANUTENZIONE E DEPREZZAMENTO

Uno studio condotto su uno dei più grandi complessi residenziali della città di Hong Kong di circa 30-40 anni di età, ha stimato il costo che la società dovrebbe sostenere a causa della mancata o inadeguata manutenzione degli edifici, pari a circa il 34% del PIL della città (Yiu, 2007). Lo studio ha dimostrato che riducendo del 10% il tasso del deprezzamento, il risparmio effettivo, in termini di spesa, sarà di circa il 14% del PIL a fronte di un costo della manutenzione pari a solo il 2,3% del PIL. La ricerca citata dimostra che la pianificazione degli interventi di manutenzione comporta non solo benefici per i proprietari, quali il miglioramento delle prestazioni del sistema edilizio, la maggiore capacità di reddito, l'incremento del valore di mercato della proprietà, ma anche benefici per l'intera collettività.

La convenienza della manutenzione è una funzione del valore di mercato dell'edificio che, a sua volta, dipende da fattori che agiscono sulla rendita urbana (Manganelli, 2013), e difficili da quantificare in modo esatto. Da un lato i cambiamenti del contesto sociale, urbano ed economico e dall'altro il continuo progresso tecnologico con conseguenti mutate esigenze funzionali ed estetiche, sono responsabili dell'elevata incertezza nella previsione dei potenziali valori futuri delle proprietà.

D'altro canto, la convenienza della manutenzione è anche funzione del suo costo. Quest'ultimo non considerato in termini assoluti ma in rapporto ai benefici diretti in termini di maggiore utilità, e indiretti in termini di incremento di valore del bene. L' intervento manutentivo risulterà tanto più efficace quanto più l'intervallo di tempo tra due interventi successivi (noto come periodicità), è prossimo a quello ottimale. Tale ottimale periodicità è funzione delle caratteristiche specifiche intrinseche, per esempio proprietà del materiale, e della condizioni di uso dello specifico componente. Nella realtà, invece, l'assenza di un modello di gestione efficiente delle manutenzione fa sì che gli interventi di manutenzione siano effettuati il più delle volte in maniera differita. Tale ritardo causa un incremento dei costi necessari per la riparazione nel lungo periodo e a una riduzione della vita utile delle parti dei componenti dell'edificio (Yasin et al., 2018).

Esiste una relazione molto forte tra deprezzamento e manutenzione. Le proprietà ben mantenute mostrano tassi di deprezzamento molto più bassi rispetto alle proprietà che sono state soggette a scarsa manutenzione (Knight e Sirmans, 1996).

Tale relazione è evidente nel grafico seguente (Fig. 1) che rilegge quello proposto da Neto e Belzega (1985). Esso mostra che le attività di manutenzione associati a interventi di modernizzazione e di riqualificazione sono in grado di prolungare la vita utile dell'edificio.

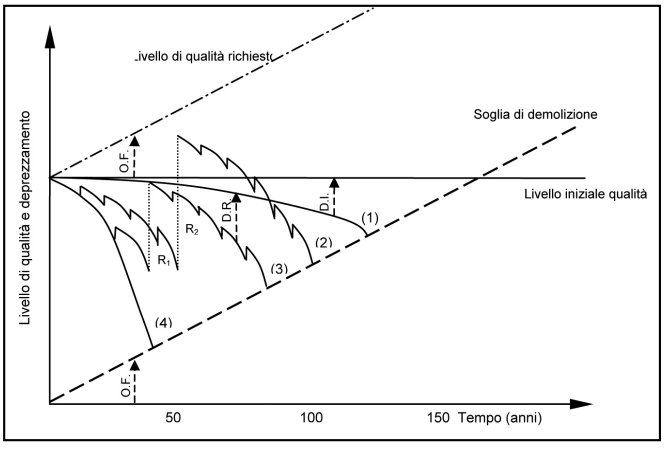


Figura 1 - *Evoluzione del deprezzamento e del livello qualitativo nel tempo (Manganelli, 2011).*

O.F. Obsolescenza funzionale

D.R. Decadimento reddituale incurabile

D.I. Decadimento della qualità effetto del decadimento reddituale incurabile e del logoramento fisico

Tale rappresentazione descrive la funzione deprezzamento e i fattori che la determinano: vetustà pura, decadimento reddituale e obsolescenza funzionale. Sono riportati quattro differenti possibili scenari circa l'andamento della funzione deprezzamento nel tempo a seconda della strategia di gestione della manutenzione messa in atto:

- *Curva 1*: Evoluzione dovuta a manutenzione molto frequente;

- *Curva 2*: Evoluzione dovuta a manutenzione periodica e un intervento di riqualificazione e modernizzazione (R2);
- *Curva 3*: Evoluzione dovuta a manutenzione periodica e un intervento di riqualificazione senza modernizzazione (R1);
- *Curva 4*: Evoluzione in assenza di interventi di manutenzione.

Si noti che gli interventi di riqualificazione volti a conseguire un ammodernamento del sistema edilizio consentono di innalzare la qualità dell'edificio che altresì decadrebbe e che, seppure in presenza di una manutenzione frequente (curva 1), il decadimento reddituale e il logoramento fisico, comportano un'anticipazione della soglia di demolizione e quindi una riduzione della vita utile dell'edificio.

Il grafico di Figura 1 mette anche in evidenza che la continua crescita degli standard qualitativi legata al progresso tecnologico nei materiali o semplicemente la non conformità ai nuovi standard qualitativi, anche in assenza di decadimento reddituale e usura fisica, produrrà dopo un certo numero di anni il superamento della soglia di demolizione.

4. TRATTAZIONE ANALITICA DEL DEPREZZAMENTO

In generale, il deprezzamento è la perdita di valore di un bene, causata da vari fattori: usura fisica (vetustà pura), decadimento reddituale e obsolescenza. La vetustà pura e il decadimento reddituale sono due aspetti di un singolo fenomeno: il logoramento fisico. Di seguito sono riportate le definizioni di tali fattori:

- *Vetustà pura* (ΔC_{dlog}): è determinata dalla progressiva riduzione della vita in servizio del bene.
- *Decadimento reddituale* (ΔC_{dred}): è correlato all'utilità inferiore di un bene già in uso, confrontato al corrispondente nuova; è quindi conseguente alle spese da sostenere per interventi di manutenzione straordinaria in grado di ripristinare la sua efficienza iniziale.
- *Obsolescenza funzionale* (ΔC_{sup}): è correlata a potenziali variazioni che si verificano nel sistema della progettazione, nei materiali utilizzati o nella scarsa conformità con i nuovi standard di qualità, ma anche semplicemente per l'introduzione di sistemi tecnologici innovativi che hanno minori costi operativi e / o maggiore efficienza.

L'obsolescenza, a differenza del logoramento fisico, non varia in relazione diretta con l'uso, con l'azione di elementi e quindi con il trascorrere del tempo; l'obsolescenza, infatti potrebbe anche essere istantanea (Baum, 1993). L'obsolescenza dell'edificio può essere distinta in diverse categorie: obsolescenza estetica, obsolescenza funzionale, obsolescenza legale e obsolescenza sociale (Salway, 1986).

È importante specificare che, in questo lavoro, ci si riferisce al deprezzamento del costo di costruzione e quindi al suo risultato economico: il costo di riproduzione deprezzato. È dunque escluso il valore del terreno sul quale sorge l'edificio e la sua eventuale variazione nel tempo (rendita). Il deprezzamento rappresenta la detrazione da fare al costo di costruzione o sostituzione dell'edificio unicamente in relazione al trascorrere del tempo; pertanto esso è indipendente dal mercato immobiliare ovvero dalla rendita e dalla variabilità dei fattori che la determinano quali la domanda e l'offerta.

La stima del deprezzamento del costo di costruzione, e dei fattori del deprezzamento, viene effettuata applicando il modello già illustrato in Manganelli (2011). Il calcolo dei fattori del deprezzamento, rispettivamente ΔC_{dlog}, ΔC_{dred}, ΔC_{sup} è sviluppato con le seguenti funzioni:

$$\Delta C_{dlog} = (C_0 - V_r)\frac{(1-i)^n-1}{(1-i)^v-1} \quad (1)$$

$$\Delta C_{dred} = C_0 \cdot m\frac{(1-i)^n-1}{(1-i)^s-1} \quad (2)$$

$$\Delta C_{sup} = U \cdot \frac{(1+i)^u-1}{i} \cdot \frac{1}{(1+i)^u} - S_p \quad (3)$$

Dove:

n: numero di anni al momento della stima = anno di stima – anno di costruzione;

s: frequenza ottimale di manutenzione;

m: costo della manutenzione, espresso come percentuale del costo a nuovo (Co);

v: vita utile (vita in servizio);

V_r: valore di recupero alla fine della vita in servizio;

i: tasso d'interesse, scelto pari a un saggio commerciale privo di rischio;

U: minore spesa annua o maggior beneficio derivanti dall'uso di un sistema nuovo;

u: vita residua in efficienza del sistema obsoleto;

S_p: spesa da sostenere per la sostituzione del vecchio impianto con uno nuovo (operazioni di disinstallazione e installazione).

Il contributo dell'obsolescenza funzionale ai fini del calcolo del deprezzamento, non è stato determinato in modo diretto attraverso l'equazione n. 3, a causa dell'elevata difficoltà di calcolo delle numerose variabili che caratterizzano la sua equazione. Esso è portato in conto in modo empirico.

L'obsolescenza funzionale comporta l'azzeramento del valore economico dell'elemento prima della fine della sua vita di servizio. Nel calcolo del deprezzamento per vetustà pura, la vita utile di servizio è sostituita dalla vita utile economica, stimata in base all'esperienza.

A tal fine è stato introdotto il concetto di vita utile economica. Esso è il periodo entro cui l'elemento è usato perché costituisce la soluzione meno costosa rispetto all'uso previsto.

In realtà per la maggior parte degli elementi, che costituiscono gli edifici, quali strutture, finiture, etc. l'obsolescenza funzionale è trascurabile; assume invece particolare rilievo per gli impianti (Manganelli, 1997).

5. IL FRAMEWORK CONCETTUALE

Il presente contributo di ricerca ha sviluppato un modello finalizzato alla risoluzione del problema estimativo del deprezzamento in modo razionale. L'edificio viene scomposto nei suoi elementi funzionali e i corrispondenti parametri (durata vita di servizio/economica, periodicità ottimale e costo di manutenzione, etc.) sono definiti. Per ogni elemento funzionale viene stimato il deprezzamento attraverso l'esame analitico dei diversi fattori che lo generano.

La principale novità di questo contributo è rappresentata dall'introduzione di questa nuova dimensione nel modello di gestione degli assets, e quindi nella metodologia BIM (Fig. 2).

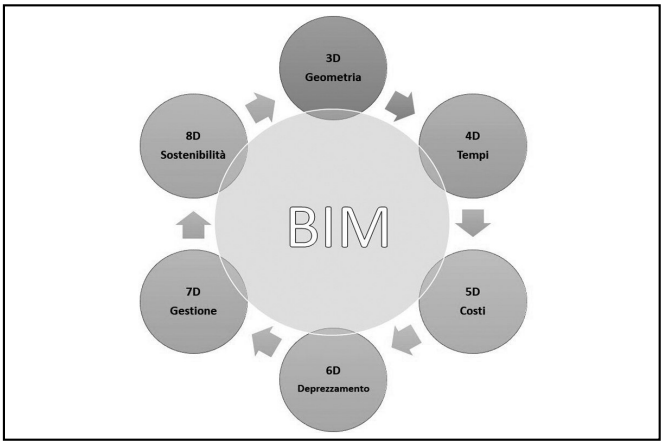


Figura 2 - *N-dimensioni del BIM.*

Al fine di automatizzare la stima del deprezzamento, è stato costruito il flusso concettuale delle fasi (Fig. 3); in pratica, le diverse fasi della stima sono definite in sequenze logiche, necessarie allo sviluppo di un algoritmo implementato attraverso un'applicazione all'interno del modello BIM; in tal modo la stima del deprezzamento sfrutta la capacità del modello BIM di gestire i dati.

Il modello BIM dell'edificio, creato attraverso il software Autodesk Revit, consente di scomporre l'edificio agevolmente (STEP 1a) in oggetti (elemento): floor, wall, roof, etc, di identificare tutti i meccanismi del processo di costruzione e quindi le singole voci del computo. Ad ogni oggetto sono associate le relative misure e/o quantità nella scala appropriata: lunghezza, superficie, volume, peso, etc. Tali dati sono forniti dal modello tridimensionale BIM e possono essere estratte, rapidamente e facilmente da esso, sotto forma di abaco (STEP 2a).

L'acquisizione dei dati (STEP 2) necessari allo sviluppo delle successive analisi è dunque in parte automatica perché già contenuti nel modello BIM dell'edificio (STEP 2a), in parte richiede l'inserimento di nuovi informazioni (STEP 2b, STEP 2c).

Ad esempio, mediante l'uso di specifici database esterni, prezzari regionali e/o nazionali, è possibile associare a ciascun elemento BIM (STEP 2d) e di conseguenza ad ogni singola voce (item) di computo il corrispondente prezzo unitario (STEP 2c).

Tale informazione è necessaria per poter generare automaticamente il valore di costo e quindi il computo metrico delle quantità (STEP 3b).

I singoli articoli del computo metrico devono essere associati alla categoria di elementi funzionali di appartenenza, per esempio: strutture sistemi e finiture. Tale classificazione raggruppa gli elementi che esibiscono funzioni tecnologicamente compatibili. Ognuna delle suddette categorie può essere ulteriormente suddivisa in sottocategorie funzionali: ad esempio per gli impianti, sistema idrico, elettrico, etc.

La classificazione in elementi funzionali è uno step preliminare e fondamentale per l'attribuzione dei parametri (STEP 2b) che caratterizzano i diversi elementi funzionali (Manganelli, 2014; Del Giudice et al., 2016) elencati in tabella 1, e per le successive fasi di calcolo delle funzioni di deprezzamento (STEP 3a) e la stima del costo di riproduzione deprezzato (STEP 3c). Le funzioni di deprezzamento sono infatti distinte per elemento funzionale; le equazioni che descrivono i diversi fattori pur avendo la medesima forma, assumono una configurazione diversa perché diversi sono i dati di input.

Tabella 1 - *Dati di input degli elementi funzionali*

Dati di input degli elementi funzionali
Età al momento della stima
Anno dell'intervento sostitutivo
Anno dell'intervento di manutenzione straordinaria
Frequenza ottimale di manutenzione (s)
Costi di manutenzione
Vita di servizio dell'elemento (v)
Valore di recupero (Vr)
Tasso d'interesse (i)

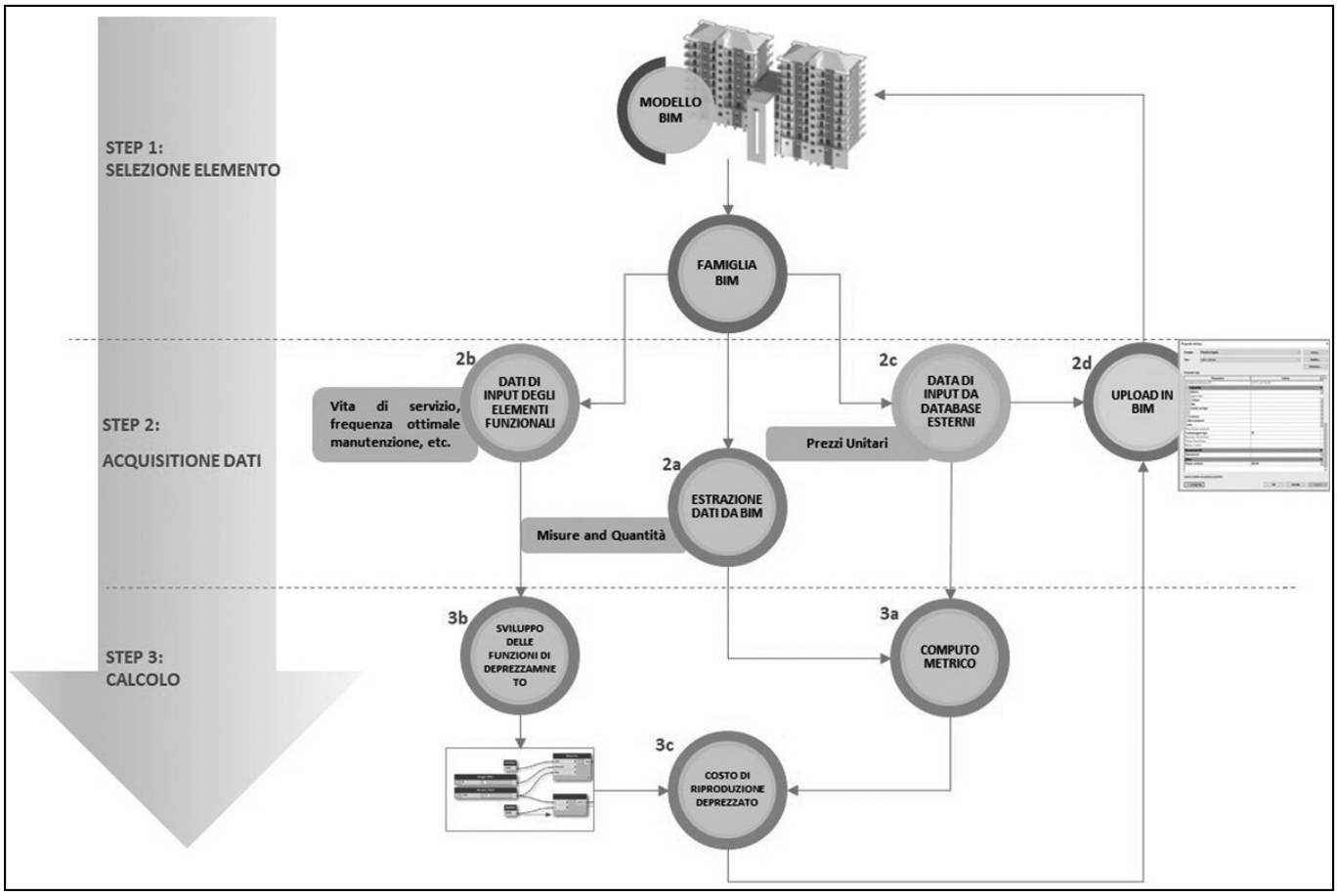


Figura 3 - *Framework concettuale.*

6. IL SOFTWARE

L'algoritmo che consente il calcolo automatizzato del costo di riproduzione deprezzato è stata sviluppato attraverso Dynamo (Autodesk Inc.). Dynamo può funzionare come software indipendente o plug-in. Qui è stato usato come un plug-in per Revit. Le potenzialità di questa applicazione consistono nella possibilità di gestire e combinare grandi quantità di dati, già presenti nel modello di Revit o inserite a partire da database esterni (Röck et al., 2018; Sadeghi et al., 2019).

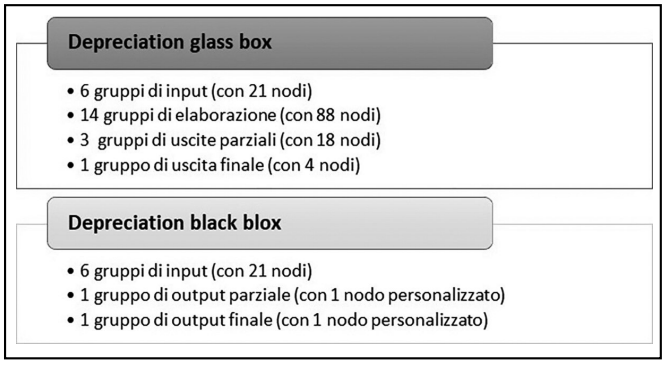


Figura 4 - *Struttura delle versioni applicative.*

Si tratta di un'applicazione BIM basata sul principio di Programmazione visiva. Il vantaggio di tale applicazione risiede nell'interfaccia del software, che fornisce ai progettisti strumenti per la programmazione piuttosto che dover scrivere il codice (Alhassan et al., 2019). L'architettura di Dynamo si basa su due soli elementi: nodi e fili. I nodi pronti, che sono stati programmati usando il linguaggio Pyton, permettono di eseguire funzioni di diverso tipo e sono interconnessi tra loro attraverso i fili che rappresentano le loro relazioni. In tal modo il progettista, che spesso non possiede nozioni specifiche sul linguaggio di programmazione, può programmare, agevolmente, concentrandosi sul flusso delle informazioni.

Sono state create due versioni dell'applicazione:

1. Versione estesa, denominata " *deprezzamento gb*" (*glass box*). Essa consente un controllo puntuale e preciso sul funzionamento dell'applicazione in quanto è possibile visualizzare e identificare eventuali errori.
2. Versione compatta, denominata " *deprezzamento bb*" (*black box*), progettata per un uso più pratico. A differenza della versione estesa presenta un numero di nodi ridotto all'essenziale ovvero ne rende visibili solo quelli principali all'utente. Per ridurre il numero di nodi visibili, sono stati utilizzati nodi personalizzati, che consentono

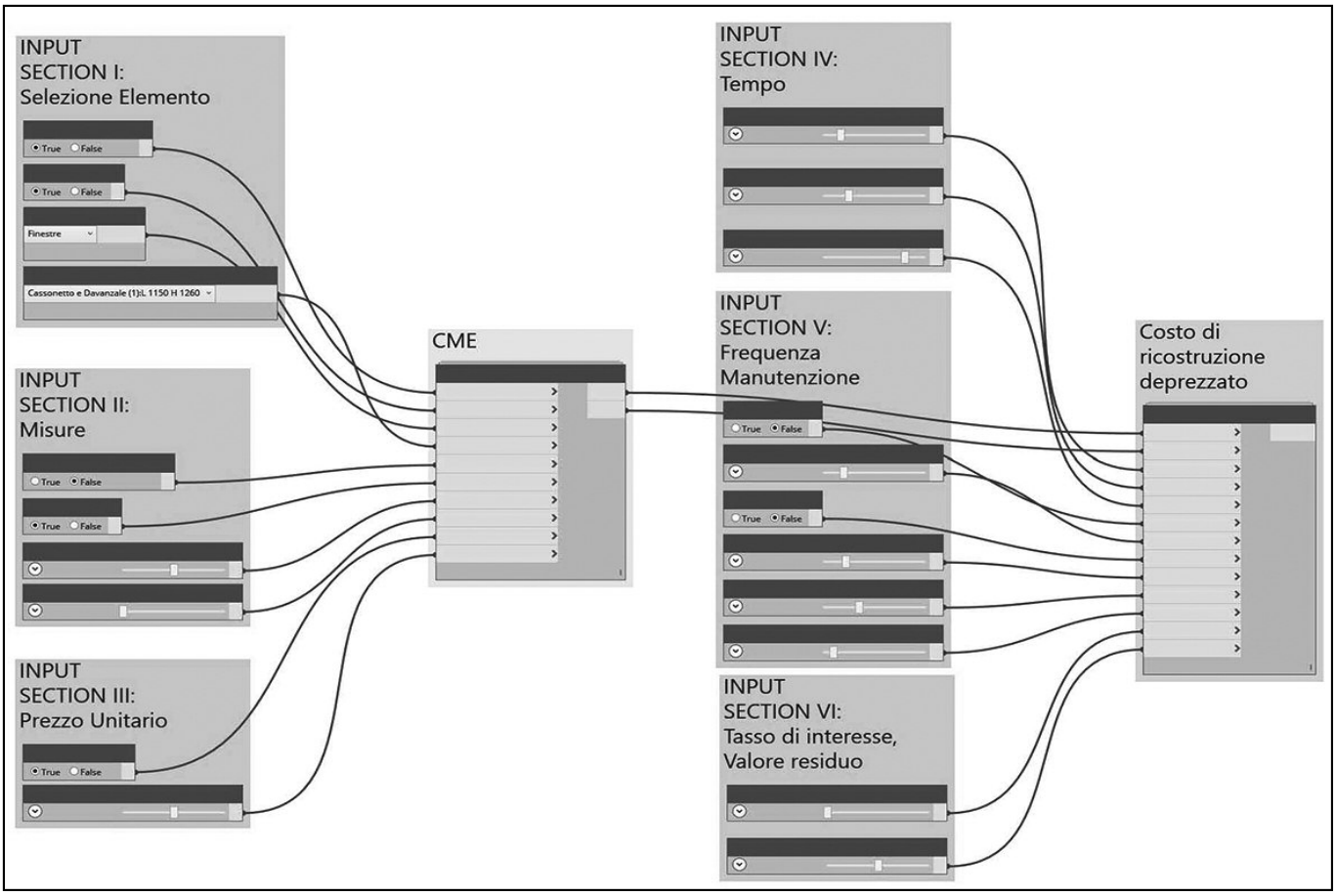


Figura 5 - *Deprezzamento black box.*

di racchiudere al loro interno i nodi che non devono essere visibili. Nello specifico i nodi visibili sono quelli che consentono all'utente di immettere gli input, mentre i nodi nascosti sono quelli di elaborazione e di output.

Di seguito sono illustrate le informazioni dettagliate circa la struttura delle due versioni (Fig. 4) e la versione *depreciation bb* (Fig. 5)

7. IL CASO STUDIO E RISULTATI

Il caso studio scelto è un complesso edilizio costituito da quattro distinti corpi di fabbrica adiacenti progettati e realizzati tra fine anni '60 e inizio anni '70. L'edificio è situato in prossimità della zona centro della città.

La stima del costo di ricostruzione deprezzato e di conseguenza dell'entità dell'intervento di rinnovo, rappresenta la fase preliminare al processo decisionale relativo all'intervento di rinnovo/ristrutturazione/retrofit, e consente di selezionare, tra le possibili alternative di intervento, quella ottimale in termini di rapporti costi/benefici.

Tassi di deprezzamento molto elevati potrebbero annullare il beneficio finale (incremento di valore) derivante da un intervento di retrofit, a causa degli elevati costi necessari alla realizzazione di quest'ultimo; in tal caso si parla di *deprezzamento incurabile* (Manganelli, 2011).

Il modello BIM dell'edificio esistente (Fig. 6) è stato effettuato a seguito di una fase di rilievo geometrico e raccolta delle informazioni rilevanti. Le caratteristiche degli elementi funzionali, in cui l'edificio può essere scomposto, sono state determinate.

Il costo di ricostruzione deprezzato del manufatto è stato ottenuto applicando il metodo di stima per elementi fun-



Figura 6 - *Modello BIM del caso studio.*

zionali. Si tratta di un procedimento di stima di tipo misto che si basa sul confronto dell'opera realizzata, di cui si vuole stimare il costo, con opere analoghe il cui costo è noto. Il comparabile deve essere analogo, per destinazione d'uso, per tipologia e per caratteristiche tecnologiche, qualità edilizia, etc. L'edificio di riferimento è tratto da una banca dati nazionale (Prezzi Tipologie Edilizie, 2014), ed è costituito da un edificio residenziale pluripiano di qualità edilizia economica. Esso è scomposto in n elementi funzionali, ottenuti disaggregando l'organismo edilizio nelle varie componenti costruttive (opere) necessarie alla realizzazione dei medesimi. Inoltre, al fine di ottenere una computazione completa dei costi, si è tenuto conto della voce *scavi e rinterri*, che pur non essendo associato ad essa un corrispondente elemento funzionale (inteso come oggetto del modello tridimensionale dell'edificio), è soggetta a deprezzamento e concorre insieme agli altri elementi funzionali alla formazione del valore di costo di riproduzione deprezzato dell'edificio.

Successivamente il costo totale si articola in funzione degli elementi funzionali e se ne determinano le corrispondenti incidenze in termini unitari e al metro quadro. Correggendo tali incidenze attraverso opportuni coefficienti, si è in grado di cogliere le differenze di costo derivanti dalle differenti caratteristiche, tipologiche e tecnologiche, tra l'edificio in esame e quello di confronto. Quindi, si ottiene il costo di costruzione per ciascun elemento funzionale e il relativo prezzo unitario per ciascun componente (Tab. 2).

Tabella 2 - *Stima per elementi funzionali*

	EDIFICIO DI RIFERIMENTO				EDIFICIO OGGETTO DI STIMA		
n.	Opere	Costo di costruzione [€]	Incidenza percentuale [%]	Incidenza unitaria [€/m²]	coefficienti correttivi	Incidenza unitaria corretta [€/m²]]	Costo di costruzione [€]
1	Scavi e rinterri	52,690.00	1.75%	16.55	1.00	16.55	117252.96
2	Opere in c.a.	914,987.00	30.37%	287.37	1.15	330.48	2341576.60
3	Vespai, sottofondi e pavimenti	155,632.00	5.17%	48.88	0.82	40.01	283469.39
4	Isolamenti e impermeabilizzazioni	34,401.00	1.14%	10.80	1	10.80	76553.79
5	Murature e tramezzi	214,246.00	7.11%	67.29	1.03	69.12	489741.12
6	Intonaci e rasature e tinteggiature	223,130.00	7.41%	70.08	1.00	70.08	496539.23
7	Canne e fognature	28,219.00	0.94%	8.86	1	8.86	62796.76
8	Rivestimenti e zoccolini	101,809.00	3.38%	31.98	1.20	38.24	270944.11
9	Coperture e lattonerie	121,407.00	4.03%	38.13	1	38.13	270171.37
10	Opere in ferro	324,068.00	10.76%	101.78	0.1	10.18	72116.02
11	Impianto di riscaldamento	157,810.00	5.24%	49.56	1	49.56	351180.28
12	Impianto idrosanitario, antincendio e gas	322,066.00	10.69%	101.15	0.5	50.58	358352.54
13	Impianto elettrico	152,325.00	5.06%	47.84	0.5	23.92	169487.16
14	Impianto ascensori	78,556.00	2.61%	24.67	1	24.67	174813.50
15	Finitura di facciata e Infissi	100,417.00	3.33%	31.54	1.24	39.18	277619.12
16	Sistemazione esterna	30,830.00	1.02%	9.68	0.5	4.84	34303.56
	COSTO TOTALE	3,012,593.00	100.00%	946.17		825.20	5846917.49

Infine, applicando il modello per la stima automatica del deprezzamento il costo di costruzione deprezzato è stato ottenuto in corrispondenza di due selezionati scenari opposti circa la gestione delle operazioni di manutenzione. Tale informazione caratterizza ogni oggetto all'interno del modello digitale (Fig. 7).

Essa fotografa il costo di ricostruzione deprezzato, in un preciso istante temporale. Pertanto essa può essere aggiornata in ogni momento durante la vita utile del componente dell'edificio.

I parametri per il calcolo dei fattori del deprezzamento dei componenti (vita utile economica, periodicità ottimale dell'intervento manutentivo, costo d'intervento, valore residuo, etc.) sono stati derivati da uno studio (Manganelli, 2011). Nel caso di edifici di nuova costruzione tali parametri saranno forniti dai produttori dei diversi componenti.

Il primo scenario è stato ottenuto ipotizzando che nell'intervallo di tempo dalla costruzione (1970) al momento della stima (2019) nessun intervento di manutenzione e/o sostituzione sia stato effettuato; il secondo scenario è stato ottenuto ipotizzando che tutti gli elementi funzionali siano stati sottoposti ad interventi di manutenzione con periodicità ottimale e, ad almeno un intervento di manutenzione straordinaria o sostituzione (Tab. 3).

Gli istogrammi (Figg. 8a – 8b) mostrano il tasso di deprezzamento percentuale calcolato per ogni elemento funzionale in corrispondenza dei due scenari. Dal confronto dei due scenari risulta evidente che, in generale, una gestione delle attività di manutenzione finalizzata alla programmazione nel tempo degli interventi, determina tassi di deprezzamento inferiori. Tuttavia si osserva che alcuni elementi, ad esempio gli impianti, a causa dell'obsolescenza funzionale, esibiscono, in entrambi gli scenari, un tasso di deprezzamento pari al 100%.

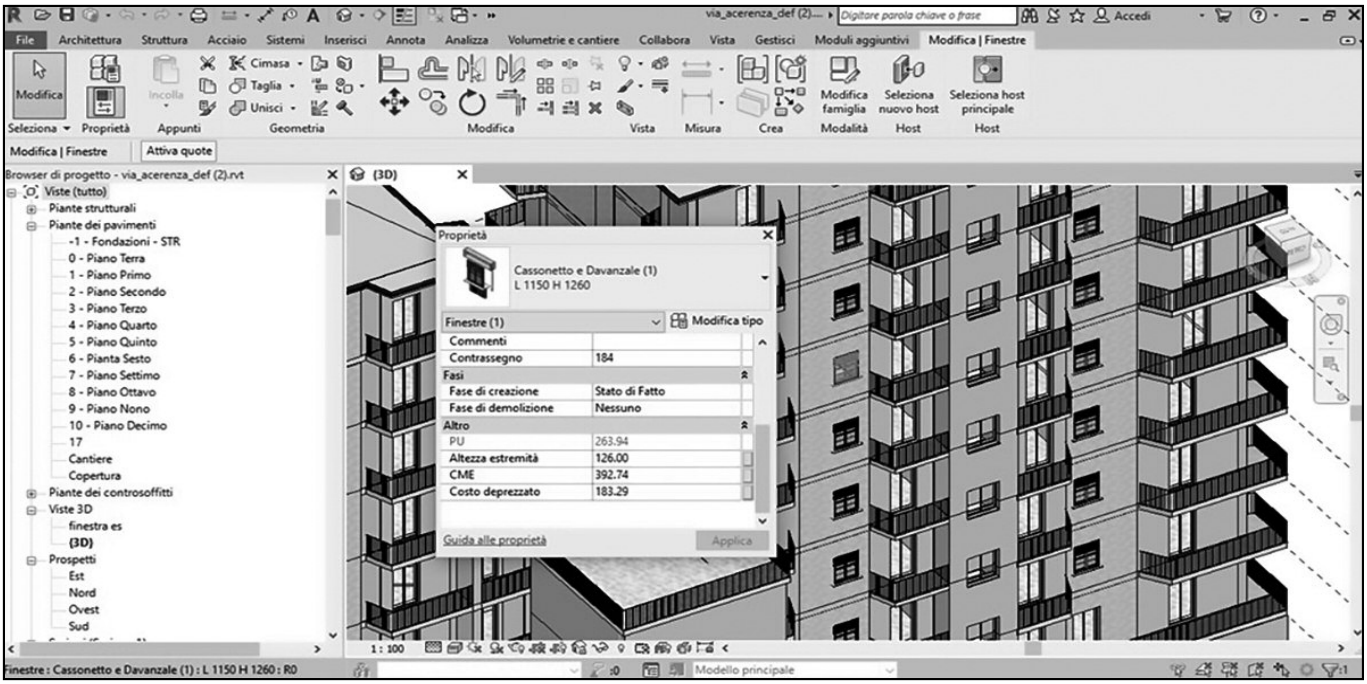


Figura 7 - *Proprietà dell'elemento.*

Tabella 3 - *Costo di ricostruzione deprezzato*

n.	Opere	Costo di costruzione [€]	Costo di ricostruzione deprezzato (scenario 1) [€]	Costo di ricostruzione deprezzato (scenario 2) [€]
1	Scavi e rinterri	117252.96	2345.06	51356.80
2	Opere in c.a.	2341576.60	46831.53	1025610.55
3	Vespai, sottofondi e pavimenti	283469.39	22677.55	124159.59
4	Isolamenti e impermeabilizzazioni	76553.79	0.00	43252.89
5	Murature e tramezzi	489741.12	352148.38	361830.83
6	Intonaci e rasature e tinteggiature	496539.23	0.00	128355.39
7	Canne e fognature	62796.76	0.00	0.00
8	Rivestimenti e zoccolini	270944.11	0.00	0.00
9	Coperture e lattonerie	270171.37	0.00	153997.68
10	Opere in ferro	72116.02	0.00	33894.53
11	Impianto di riscaldamento	351180.28	0.00	0.00
12	Impianto idrosanitario, antincendio e gas	358352.54	0.00	0.00
13	Impianto elettrico	169487.16	0.00	0.00
14	Impianto ascensori	174813.50	0.00	40207.10
15	Finitura di facciata	138809.56	0.00	71764.54
16	Infissi	138809.56	0.00	3983.83
17	Sistemazione esterna	34303.56	6860.71	6860.71
	COSTO TOTALE	5846917.49	430863.23	2045274.45
	COSTO TOTALE/mq	825.20	60.81	288.66

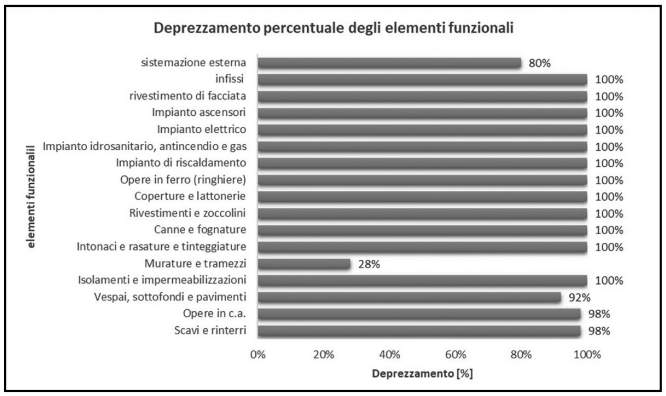


Figura 8a - *Tassi di deprezzamento percentuale degli elementi funzionali in corrispondenza dello scenario nessuna manutenzione.*

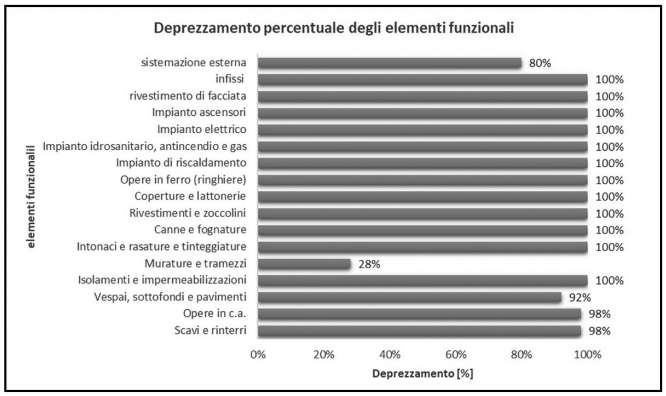


Figura 8b - *Tassi di deprezzamento percentuale degli elementi funzionali in corrispondenza dello scenario manutenzione ottimale.*

8. CONCLUSIONI

La stima diretta del tasso di deprezzamento del costo di costruzione può essere condotto direttamente in ambiente BIM. L'informazione del deprezzamento sarà memorizzata come proprietà del componente nel modello digitale. Essa documenta il costo di ricostruzione deprezzato in un preciso momento. Pertanto, potrà essere aggiornata durante la vita utile dell'edificio o dei suoi componenti. Il presente contributo, attraverso l'introduzione di tale nuova dimensione, il deprezzamento, rappresenta un avanzamento nell'ambito degli studi di ricerca dei modelli di gestione degli assets che si avvalgono della metodologia BIM.

Il software fornito rappresenta un facile e valido supporto informativo per coloro che sono impegnati nella gestione della fase operativa e manutentiva di asset immobiliari. La possibilità di poter monitorare la dinamica del deprezzamento in tempo reale consente una scelta informata sulla frequenza e sulla portata dei vari interventi di manutenzione.

Tale conoscenza associata a quella dei piani di manutenzione dei diversi componenti dell'edificio, consente di identificare e pianificare la strategia manutentiva in maniera razionale sulla base di un'organizzazione gerarchica degli elementi funzionali. Ne deriva la sequenza, nel passaggio da una categoria funzionale all'altra, dei diversi interventi manutentivi, secondo una direzione privilegiata, a partire dagli elementi posti a capo della gerarchia a quelli posti nelle posizioni subordinate, in modo da massimizzare l'efficacia dei medesimi.

Infatti, dal confronto tra i due scenari manutentivi del caso studio, è evidente che la gestione delle attività manutentive, attraverso interventi programmati nel tempo, produce tassi di deprezzamento inferiori. Inoltre, la differenza tra i costi di rinnovo necessari a riportare l'edificio nelle medesime condizioni di efficienza accettabili, a partire dai due differenti scenari di deprezzamento delineati, sarà di gran lunga superiore alla differenza in termini di costi di manutenzione sostenuti nei due differenti scenari. Solitamente, tale differenza determina il passaggio dell'edificio da una condizione di "deprezzamento curabile" a una condizione di "deprezzamento incurabile". Questi aspetti dimostrano l'elevata convenienza dell'effettuare le attività di manutenzione, durante la vita di servizio dei componenti, con frequenza ottimale.

L'applicativo software può risultare uno strumento molto utile per le aziende, private e pubbliche, per fornire rapidamente il costo di riproduzione deprezzato da iscrivere come valore, rappresentativo del patrimonio immobiliare, all'interno del proprio bilancio.

* **Benedetto Manganelli**, *Scuola di Ingegneria, Università degli Studi della Basilicata, Potenza, Italia*
e-mail: *benedetto.manganelli@unibas.it*

** **Sabina Tataranna,** *Scuola di Ingegneria, Università degli Studi della Basilicata, Potenza, Italia*
e-mail: *sabina.tataranna@unibas.it*

Bibliografia

Alhassan B.M., Younes J., Jrad O. F., *Enhancing Public Buildings Maintenance Using Integration Between Knowledge*, 2019.

Baum A. E., *Quality, Depreciation and Property Performance*, *The Journal of Real Estate Research,* Vol. 8, n. 4, 1993, pp. 541-565.

Bueno C., Fabricio M.M., *Comparative analysis between a complete LCA study and results from a BIM-LCA plug-in*,

Automation in Construction, n. 90, 2018, pp. 188-200.

Cecconi F.R., Moretti N., Maltese S., Tagliabue L.C., *A BIM-Based Decision Support System for Building Maintenance*, Advances in Informatics and Computing in Civil and Construction Engineering, Ivan Mutis Timo Hartmann Editors, 2019, pp. 371-378.

Chong H.Y., Lee C.Y., Wang X., *A mixed review of the adoption of Building Information Modelling*, Journal of Cleaner Production, n. 142, 2017, pp. 4114-4126.

Cresme, CNAPPC, *"BIM-MONITORING"*, 2019.

Decreto Ministeriale MIT n. 560 del 1 dicembre 2017.

Del Giudice V., Manganelli B., *Depreciation method for firm's assets*, 16th International Conference of Computational Science and Its Applications, ICCSA LNCS, Vol. 9788, Springer, 2016, pp. 214-227.

European Commission, *Level (s) Taking action on the total impact of the construction sector,* 2019.

Fregonara E., Giordano R., Rolando D., Tulliani J.M., *Integrating Environmental and Economic Sustainability in New Building Construction and Retrofits*, Journal of Urban Technology, 2016. DOI: 10.1080/10630732.2016.1157941

Knight J.R., Sirmans C.F., *Depreciation, Maintenance, and Housing Prices*, Journal of Housing Economics, 1996, pp. 369-389.

Konyukhov V.Y., Radionova E.A., Zott R.S., Konovalov P.N., *Improving the Methods of Real Estate Operation Based on BIM-Technologies*. *Advances in Social Science*, Education and Humanities Research, Vol. 333, 2019.

Lee S., Kim K., Yu. J., *BIM and ontology-based approach for building cost estimation*, Automation in Construction, n. 41, 2014, pp. 96-105.

Manganelli B., Morano P., *Un modello razionale di stima del deprezzamento di macchine industriali*, Quaderni del Dipartimento Patrimonio Architettonico e Urbanistico dell'Università di Mediterranea di Reggio Calabria, Gangemi Editore, Roma, 1997, pp. 13-14.

Manganelli B., (a cura di). *Il deprezzamento degli immobili urbani*, Franco Angeli, Milano, 2011.

Manganelli B., *Maintenance, building depreciation and land rent*, 3rd International Conference on Civil Engineering, Architecture and Bulding Materials CEABM, Applied Mechanics and Materials, Vol. 357- 360, 2013, pp. 2207-2214.

Manganelli B., *Economic life prediction of concrete structure*, 4th International Conference on Structures and Building Materials, ICSBM, Advanced Materials Research, Vol. 919-921, 2014, pp. 1447-1450.

Neto F.S., Belzega. A., *Custo e rentabilidade das intervencoes*. Lisboa, L.N.E.C., 1985.

Olatunji O.A., Sher W., *Perspective on Modeling BIM-enable Estimating Practices*, Australian Journal of Construction Economics and Building, 2014.

Oti A.H., Tizani W., Abanda F.H., Jaly-Zada A., Tah J.H.M., *Structural sustainability appraisal in BIM*, Automation in Construction, n. 69, 2016, pp. 44-58.

Pozzoli S., Bonazza M., Villa W.S., *Autodesk Revit per l'Architettura, Guida completa per la progettazione BIM*, Autodesk, 2018.

Prezzi Tipologie Edilizie, DEI Tipografia del Genio Civile, 2014.

Röck M., Hollberg A., Habert G., Passer A., *LCA and BIM: Visualization of environmental potentials in building*, Building and Environment, n. 140, 2018, pp. 153-161.

Sadeghi M., Elliott J.W., Porro N., Strong K., *Developing Building Information Models (BIM) for Building Handover, Operation and Maintenance*, Journal of Facilities Management, Vol. 17, n. 3, 2019, pp. 301-316.

Salway F., *Depreciation of Commercial Property*, Reading U.K. CALUS, 1986.

Santos R., Costa A.A., Silvestre J.D., Pyl L., *Integration of LCA and LCC analysis within a BIM-based environment*, Automation in Construction, 2019.

Siniak N., róbek S., Nikolaiev V., Shavrov S., *Building Information Modeling for housing renovation - example for Ukraine*, Real Estate Management and Valuation, Vol. 27, n. 2, 2019.

Volk R., Stengel J., Schultmann F., *Building Information Modeling (BIM) for existing buildings – literature review and future needs*, Automation in Construction, n. 38, 2014, pp. 109-127.

Yasin M.N., Mohamad Zin R., Hamid M.Y., Zakaria M.A., Deraman R., *Deferred maintenance of buildings: A review paper*, 10th Asia Pacific Structural Engineering and Construction Conference, 2018.

Yiu, C. Y., *Building depreciation and sustainable development*, Journal of Building Appraisal, n. 3, 2007, pp. 97-103.