

Appraisal of energy saving in Green Buildings, supported by BIM new platforms

*Mariangela Musolino**,
*Domenico Enrico Massimo***,
*Concettina Marino****,
*Pierfrancesco De Paola*****,
*Roberta Errigo******,
*Alessandro Malerba******,
*Francesco Paolo Del Giudice******

Key words: green building, energy efficiency,
climate change, appraisal, valuation,
energy performance simulation programs (EPSPs)

Abstract

Climate change is the most lethal crises facing Humanity. The majority (99%) of scientists agree that climate change is caused by humans. According to empirical evidence this ecological tragedy is rooted primarily in world-wide enormous fossil energy production and consumption. The civil sector, including settlements, is the world's "largest fossil energy consumer and polluter". Green building is the only way to ensure sustainable development and to overcome climate change by decarbonizing the constructions. The aim of the research is to test a strategic solution, applied to the civil sector, valuated through new assessment tools including the novel BIM in updated platforms. Some significant Building Energy Performance Simulation Programs (BEPSPs) are comparatively tested in a Case Study experimented in the simplest Prototype Building. One goal of the present research is to valuate if the ecological coat produces a saving of up to at least 40% of energy consumption in the building in the short-medium terms i. e. by 2030 as required in the EU Directive 2018/844 and if it is economically feasible. The passivation of brown common inefficient Prototype Building is implemented using bio ecological panels made from natural materials. By simply using a six or ten centimeters thick panel coat,

the energy saving for heating is around 71% or 82%, way above the set objective of 40% by 2030 as required in the EU Directive 2018/844. The building global energy saving is always more than 55%. The research achieved the general objective and the specific goal set, obtaining the empirical evidence of the extraordinary impacts/benefits produced by insulation using extremely small panels/boards made from local natural cork in a local circular economy structure. Since the economic and financial impacts are of great relevance for the feasibility of the Strategy "Green Building" Strategy, a financial estimate has been developed. It immediately also highlighted the economic profitability, pecuniary convenience and financial feasibility convenience of the Sustainable Scenario. Research appraised a favorable monetary Pay Back\recovery (within only five years from the ecological intervention) of the differential additional upfront cost due to passivation additional works. There is a gap in the real world and a strong request in the research world (Hopkins, 2016) of appraisal concerning financial feasibility of the "Green Building" Strategy. The presented research aims to contribute to answer these demands of economic valuation.

1. INTRODUCTION

According to growing empirical evidence and to scientific findings, climate change and the related global warming are the most lethal and serious crises facing Humanity today, with the risk of probable irreversibility. Several scientific official international bodies, among which the World Meteorological Organization, WMO (WMO, 2022) as well as the World Health Organization, (WHO), believe that «climate change is the greatest threat to global health» (Chan, 2015).

The chaotic signals of this crisis are self-evident, undeniable, catastrophic and almost irreversible and are as follows:

- objective detection of emitted pollution (heat trapping gas) and the consequent respiratory problems such as allergies, illness and deaths;
- greenhouse barrier in the atmosphere, caused by pollution;
- heat trapping;
- earth heat;
- consequent increase world-wide in indoor cooling using air conditioning (AC, Air Conditioning, part of HVAC, Heating, Ventilation and Air Conditioning), which constitutes almost half of our total fossil energy consumption);
- additional pollution;
- additional increase in earth heat;
- consequent melting of both poles, glaciers, permafrost and snowfields;
- rising sea and ocean water levels and temperatures;
- additional atmospheric turbulences;
- extreme weather events;
- cloud bursts and violent storms together with long lasting drought;
- harvest loss;
- desertification and recurrent unstoppable forest fires;
- decrease in crop production;
- hunger, famine, mass emigration;
- etc..

The trend in the over-use of air conditioning in summer is expected to continue to rise and to exacerbate due to the continuous increase in earth warming as well as the improvement in life standards and construction industry requirements (Aza-Medina et al., 2023).

“The majority (99%) of scientists agree that climate change is caused by humans” (D’Agostino et al., 2022): it is clear from valuation and extensive investigation that the above ecological tragedy is human caused and it is rooted in and driven primarily by yearly world-wide fossil energy production and consumption:

- an enormous quantity of fossil energy production (according to some statistics dating back to as early as 2018: million tons of oil equivalent, mtoe $14,282 \times 11.63 = 166,000$ tera Watt hour) (IEA, 2023);
- a large consumption of energy (according to some statistics dating back to as early as, 2018: mtoe $9938 \times 11.63 = 115,000$ tera Watt hour) (IEA, 2023);
- an elevated/significant waste in dispersion and lost in energy transportation (around 51,000 tera watt hours) (IEA, 2023).

Today yearly world-wide produced energy mainly derives from fossil-wood sources (carbon, oil, gas and bio mass - cellulose) whose combustion emits the lethal GHGs (Green House Gases) (IEA, 2023).

It is clear from valuation that the world-wide “integrated” civil sector (quarries, materials, construction, buildings, climate and other operative management, real estate, world-wide settlements, etc., all of which constitute about 10% of the World GNP) accounts for about 40% of total world-wide energy consumption (up to 70% in urban areas), about 40% of world-wide total CO₂ emissions (36,800,000,000 tons estimated in 2022 Covid year [IEA, 2023]), 38,003,269,271 tons in 2017 (Ritchie et al., 2017) “and more than 55% of specific valuable electricity use” (Chan, 2015). Consequently, the “integrated” civil sector, including settlements, is the world’s “largest fossil energy consumer and polluter”:

“Buildings consume 40% of global energy – 70% in some major cities – and are thus a major contributor to global warming” (Allen, 2023).

“Buildings constructed today will be in use for decades to come and as such, decisions about their design and energy efficiency measures will substantially influence progress on mitigating climate change and reducing air pollution morbidity and mortality” (Allen et al., 2018).

It is clear from valuation that in order to mitigate this ecological crisis (and avoid its final fatal irresolution) one priority and general strategy, among others, is to “green” the “integrated” civil sector and world-wide settlements (“the world’s largest consumer and polluter”) by pursuing several targets to permanently and structurally cut the local as well as the world-wide consumption of fossil energy and the related consequent emissions of GHGs (Adamczyk et al., 2017).

Valuation research also suggest short/medium term tactical targets (“less than 25% consumption and emission by 2025” [UNSCAP, 2019]) in order to make the long-term strategic goal more feasible. Such tactical targets include:

- an improved level of energy efficiency in building (+25% by 2025) by adopting natural materials with low environmental impact in a nature-based circular economy;

- a consequent and parallel significant reduction (-25% by 2025) in related carbon emissions (UNSCAP, 2019);
- the EU Directive 2018/844 requires -40% of energy saving by 2030.

Based on evidence and scientific findings, international and intergovernmental organizations, the most influential federal governments, the world's largest economies together with the growing number of the world's biggest firms and corporations have made strategic decisions to confront and, hopefully, to overcome climate change, global warming and consequent ecological tragedy. These decisions are "officially" very clear and firm: "greening and decarbonizing the world", the only way to ensure future healthy welfare and great efficient, economic, development.

The above international strategic decisions commit all states and civil societies world-wide to overcome the causes of the ecological disaster which is destroying humanity life and the entire Planet.

The first strategic solution is to "green" the civil sector, *i.e.* the construction industry and its management to reduce fossil energy consumption and its consequent carbon emissions especially in the already existing buildings (around 90% of the world's total), by "passivation", *id est* by performing an "ecological architectural retrofiting" (Krier, 1984) on the building. This, generally speaking, consists in coating the whole building with ecological material boards/panels.

"Some of the most common materials used for thermal insulation in the construction industry are expanded polystyrene, polyurethane foams, glass fiber, rock wool among others that are energy intensive and may pose some environmental concerns due to the use of oil-derived products or the use of harmful chemical compounds in their production process" (Aza-Medina et al., 2023).

"In the defined strategy and in this scenario, the improvement of the thermal performance of buildings using natural materials (= "sustainable efficiency") with low environmental impacts is one of the key aspects that may help reduce the energy consumption on a global scale and the carbon footprint in the world civil construction sector" (Aza-Medina et al., 2023).

"Green and healthy buildings avoid using construction materials that may contain harmful Volatile Organic Compounds (VOCs) or noxious or plastic by-product which have been known to release toxic fumes and carcinogens in indoor and outdoor environments. It doesn't make sense to have a building that damages our health where people get sick inside. Instead: we all can and must have: - green building; - good indoor air quality; - improved outdoor air quality!"

(New School of Architecture & Design).

Therefore, the suggested materials are not derived from "the fossil cycle" (coal; oil; gas), instead they come from regional and local natural areas and this factor contributes to the local and regional circular economy and local - regional sustainable development.

In the general strategy, chosen materials must be nature-based and salubrious in order to get multiple co-benefits from the ecological "retrofitting" or new construction of a building. The materials must possess the following characteristics:

- green, more energy efficient;
- healthy, possessing high Indoor Environmental Quality (IEQ);
- eco, with zero or small outdoor greenhouse gases emissions, contributing to high Outdoor Environmental Quality (OEQ);
- peak-shaving of the energy and electricity demand because the natural material has a significant thermal lag or displacement of outdoor summer heat as well as winter cold, and it possesses phase-change characteristics; this helps to avoid (=shave) and mitigate the rise and fall in energy demand for summer air conditioning;
- sustainable, *i.e.* in order to obtain the raw material, trees are not cut down, but revitalized through an unique debarking which results in the preservation and the additional enhancement of the total forest cover;
- neutral in Life Cycle (LC), according to the Harvard framework of the "co-be [benefits] of the built environment", the balance of the production cycle of the boards or panels of natural materials is neutral or negative regarding greenhouse gas and air pollutant emissions (the sequestered carbon is greater than the emitted carbon in the whole production process) (Allen, 2023; Allen et al., 2018).

Furthermore, in the general strategy, the adopted boards/panels of natural materials, which have been heavily tested in official laboratories, have performed very well regarding key thermal features and ecological characteristics such as:

- permeability for healthy building containing no moisture or humidity;
- thermal and differential heat displacement, useful in slowing-down the transmission of outdoor external summer heat to the indoor environment;
- insulation, useful in keeping out the external winter cold;
- sound proofing, for acoustic comfort and indoor wellness.

With a view to supporting the global mission ("to overcome climate change and global warming, by greening and decarbonizing the urban areas and the

world" [Massimo, 2010]) and to developing the authors' previous studies (Massimo, 1995; Barbalace et al., 2012; Massimo et al., 2013; Massimo, 2015; Massimo et al., 2016; Massimo et al., 2018; Malerba et al., 2019; Musolino et al., 2019; Massimo et al., 2021; Massimo et al., 2022; Massimo et al., 2022; Calabrò et al., 2022), the aim of the present research is to test and assess a strategic solution applied to the civil sector, through new valuation tools including the novel BIM (Building Information Modeling) in updated BEPSPs (Building Energy Performance Simulation Programs) platforms and testing all of them in a case study experimented in an extremely simple Prototype Building.

Accordingly, the *first* set goal of the present research is the further application of the energy valuation to the key element for of the experimentation: the Prototype Building that gives almost immediate results of the simulations.

The *second* set goal of the present research is to value if the ecological coat or insulation (= *coh-ĩ-bens; coibente*), immediately produces a saving of up to at least 25% (-40% of energy saving by 2030 according to EU Directive 2018/844) of ordinary energy global consumption in the above cited Prototype Building of the case study, retrofitted using healthy bio panels made from natural materials.

The *third* set goal of the present research (implicit in the previous two) sets out to test the latest BIM platforms used in evaluating the total energy consumption in the Prototype Building. The third goal also includes the systematic comparative use of the new versions of some BEPSPs that give more significant numbers and a final estimation of the total energy consumption (considering more final uses and purposes compared to previous studies) in the Prototype Building. Then, new information concerning a breakdown of the energy used for the different purposes (heating, DHW, Domestic Hot Water, lighting, cooking, air-conditioning, etc., etc.) can also be obtained.

Therefore, the valuation of the thermal behavior of the Prototype Building of the case study is performed with not just one but with several comparative BEPSPs. The experimentation seeks to assess the overall consumption and the convergence among the several quantitative outcomes.

The *fourth* set goal of the present research is to demonstrate the economic feasibility of the proposed strategy, through a financial analysis based on the energy savings and avoided CO₂ emissions achieved by passivation, which quantifies the positive economic impacts of the sustainable intervention, according to the strong request of economic appraisal (concerning the financial feasibility of "Green Building" Strategy) coming from the real world and from the research world (Hopkins, 2016).

2. LITERATURE REVIEW

2.1 International Literature Review

International organizations, as World Health Organization, ascertain and warn that: "Climate change endangers human health." (Chan, 2015) Consequent international agreements verify that: «climate change is the greatest threat to global health in the 21st century" (Chan, 2015). International Energy Agency (IEA) certifies that: "Worldwide produced energy mainly derives from fossil – wood sources" (IEA, 2023).

Updated international scientific research confirms that: "Climate change, driven by greenhouse gas emissions, is a growing global concern, threatening world-wide environment, health and economy" and that "Climate change is globally recognized as one of the largest threats of this century, with harsh and complex interconnected consequences affecting environment, to health, and economy" (D'Agostino et al., 2022). The same research detects that: "Energy needs for buildings are a largest source of greenhouse gas emissions" (D'Agostino et al., 2022). Additionally, "the construction sector is responsible for approximately almost 36% of the energy consumption and 37% of the greenhouse gas emissions. While the building is being used, on average, the HVAC, system is responsible for almost half of the total energy consumption. This trend is expected to continue to rise due to the improvement in life standards and construction industry requirements" (Aza-Medina et al., 2023).

And: "the global existing building stock is responsible for almost 50% of the world's total energy consumption and 33% of greenhouse gas emissions" (Ruggeri et al., 2020).

Highest international officers state that: "Solutions exist and we need to act decisively to change this trajectory" (Chan, 2015).

Cited international literature recommends the above-mentioned strategic solution: "Accounting for about 40% of final energy consumption, 36% of associated CO₂ emissions and 55% electricity consumption, buildings are a key factor to achieve the first step in reducing greenhouse gas emissions (-25%)" (D'Agostino et al., 2022). Encore: "Sustainable construction is the only way to ensure the implementation of the principles of sustainable development" (Adamczyk et al., 2017). And: "The building sector has a strategic role in the clean energy transition towards a fully decarbonized stock by mid-century" (D'Agostino et al., 2022). Additionally, "The building sector is highly energy intensive and plays a prominent role in energy saving and sustainability" (Ruggeri et al., 2020, p.1.r.22-24).

Accordingly, international literature recommends: "The need for a clean energy transition reducing dependence on fossil fuels has become more urgent in the light of

the recent geopolitical situation. Key principles are prioritizing energy efficiency, improving the energy performance of buildings, and developing a power sector based largely on renewable sources" (Aza-Medina et al., 2023). "Globally, the agreed target for the coming decades is to decarbonize the energy sector, making buildings more efficient" (D'Agostino et al., 2022). "Within this framework, nZEBs (nearly Zero Energy Buildings) or Green Buildings have a strategic role in improving energy efficiency and renewable, and are the mandatory target for buildings" (D'Agostino et al., 2022). And: "nZEBs play a key role in the strategy combining energy efficiency with the deployment of renewables" (D'Agostino et al., 2022).

International literature focuses on co benefit, and among them: outdoor and indoor quality as well as building efficiency and energy saving: "Certified green buildings substantially reduce energy consumption on a per square foot basis and they also focus on indoor environmental quality. However, the co-benefits to health through reductions in energy and concomitant reductions in air pollution have not been examined" (Allen et al., 2018).

International literature focuses on ecological, health, organic, whole, natural materials: "Some of the most common materials used for thermal insulation in the construction industry are expanded polystyrene, polyurethane foams, glass fiber, rock wool among others that are energy intensive and may pose some environmental concerns due to the use of oil derived products or the use of chemical compounds in their production process" (D'Agostino et al., 2022).

International literature recommends eco-friendly and salubrious materials for better health in green buildings: "Living in a sustainable building can save your life – literally. According to studies, people who reside in green structures experience a myriad of health benefits due to the eco-friendly materials utilized in construction. For example, green buildings avoid using building materials that may contain harmful volatile organic compounds or plastic by-products which have been known to release toxic fumes and carcinogens into the atmosphere and these dangerous materials are linked to respiratory disease, allergies, and other health disorders, and in extreme cases, an increased risk of cancer" (New School of Architecture & Design).

The eco-friendly materials shall be also natural to reduce the global carbon footprint in the civil sector. "In this scenario, the improvement of the thermal performance of buildings using natural materials with low environmental impacts is one of the key aspects that may help reduce the energy consumption and the carbon footprint in the construction sector" (D'Agostino et al., 2022).

International literature highlights the key role that BEPSPs play in world-wide implementing the Green Buildings or nZEBs resolute strategy: "Building energy

simulations are a powerful modeling tool used for varied purposes. Among applications, there are: the establishment of the building design, the selection of cost-optimal technology measures, the forecast of building energy performance and stock renovation, the determination of comfort and indoor air quality conditions, the assessment of building certification, and the estimation of future savings scenarios on which define specific policy initiatives" (D'Agostino et al., 2022).

Experimentation must be contextualized from Continents (Asia; America; Africa; Europe; Oceania) and worst polluter sub Continents per CO₂ tons emitted per year (Ritchie et al., 2017) (tons per year: 01.China: 9,838,754,028; 02.Usa: 5,269,529,513; 03.India: 2,466,765,373; 04.Russia: 1,692,794,839; 05.Japan: 1,205,061,178; World: 38,003,269,271) to Country, region and local level, as in the following literature review subparagraph, contextualized at Country level for average energy consumption and its splitting for specific purposes, as well as for selected example provided by the Academic Appraisal Scientific Sector ICAR22.

2.2 Literature Review: The Country Contextualization

2.1.1 2022 energy total consumption in Italy

According to the ENEA annual data (ENEA, 2021), the Country Italy's primary energy requirement in 2021 is 167 mtoe: coal 6, oil 53, gas 62 (fossil subtotal: 121 mtoe = 1,407 TWh Tera Watt hours, [1 mtoe = 11.63 TWh]); renewable energy sources 36.5 mtoe; imported electricity 9.5 mtoe. Currently fossil fuels (121 mtoe = 1,407 TWh) cover 72% of the total requirement. This entails a strong energy dependence from abroad and therefore an important impact on the climate and the environment due both to:

- the combustion of fossil fuels and related greenhouse gases emissions;
- and to losses in their transport and distribution, around 30% of total produced.

2.1.2 2022 energy consumption of average household in average apartment in Italy

According to Italian Ministero della Transizione Ecologica (Ministero della Transizione Ecologica, 2021) and ENEA (ENEA, 2021) annual data, energy consumption, in Italy in 2021, in an average apartment of 85 m² (CRESME, 2017; Agenzia delle Entrate, 2021; Banca d'Italia, 2021), in one year, an average household ("typical family"), consumes about 1,400 m³ of natural gas (1,400 m³ x 10.90 kWh/m³ = 15,260 kWh) and 2,700 kWh of electricity for the energy needs of their home, total kWh = 15,260+2,700=17,960. The average unitary total energy consumption of an average house-hold

("typical family") is estimated: 208 kWh/m² year (ENEA, 2021; Ministero della Transizione Ecologica, 2021). Almost similar data are in the ARERA's annual report of 2021: an average household ("typical family") in Italy consumes about 1,310 m³ of natural gas (1,310 m³ x 10.90 kWh/m³=14,279 kWh) and 2,184 kWh of electricity for the energy needs of their home, total kWh = 14,279+2,184=16,363. The average total energy consumption of an average household ("typical family") in 2021, is estimated: 194 kWh/m² year (ARERA, 2021).

2.1.3 2022 energy average consumption breakdown

According to 2021 ENEA, consumption in the residential sector is divided into: heating 70%; DHW 10%; thermal energy cooking food 5% and electricity 15% (ENEA, 2021).

This table shows the kWh/m² year, in 2021, of energy consumed for an average ["typical"] apartment in Italy of 85 m² and their breakdown by end use in the ENEA estimation.

Table 1 - Breakdown of final primary energy consumption for an average household

Purposes (and uses)		Um	Percentage
n.		kWh/m ² y	%
01	Heating	146	70%
02	Lighting	31	15%
03	Domestic Hot Water	21	10%
04	Cooking	10	5%
01-04	TOTAL	208	100%

Source: ENEA (2021), *Rapporto annuale sull'efficienza energetica: Analisi e risultati delle policy di efficienza energetica del nostro paese*. Available online: <https://www.energiaenergetica.enea.it/component/jdownloads/?task=download.send&id=554&catid=9&Itemid=101> (accessed on 01 February 2023)

2.3 Literature Review: Few Academic and Professional Case Studies

In Turin (Piedmont region, Italy), Bottero, Mondini et al. (Bottero et al., 2018), from Politecnico di Torino, in complex research considering a relevant and important database (around 15,000 properties, geo - referenced), estimated that a property more than 30-years-old should consume energy, on average, in a year, from 180 to 200 kWh per sqm.

In Turin (Piedmont region, Italy), Monetti (Monetti, 2015) assessed the differential total energy consumption in kWh/m² year of some edifices belonging to different age groups, built up with different materials as well as non-identical construction techniques and, therefore involving a diverse consumption of total energy per year. For example, the average home unit built up on 1960 should consume, on average, in a year, around 286 kWh per sqm of total energy, and 178 kWh per sqm only for heating, in Business As Usual (BAS) or "common" scenario (no-sustainable; no-green). The table below shows the Monetti consumption estimate (by using: EnergyPlus tool) in kWh/m² year of total energy as well as of only heat of the 1960 unit in both common as well as Green apartment.

Table 2 - Energy consumption in Monetti case study

n.	Purposes (and uses)	Apartment 73 m ²			
01		EnergyPlus			
02		kWh/m ² y			
03		BAS	Green	Δ	%
04	Total	286	123	-163	-57
05	Heating	178	63	-115	-65

Source: Monetti, V. *Scalable dynamic simulation-based methodology for the energy retrofit of existing buildings*. Ph.D's Thesis, Politecnico di Torino, Energy Department, Torino, Ita, 2015

The cited case study concerns, among others, a building of four floor above ground, 24 residential apartments, of 73 m² each and 4 floors above ground, with following these transmittances in BAS or "Common": exterior wall 1.15 W/m² K, flat ceiling under the roof 1.65 W/m² K, slab towards non conditioned basement 1.30 W/m² K, transparent elements 4.90 W/m² K. Heating system is a gas boiler with radiators and for ventilation the infiltration rate is 0.5 ach and it is constant during all days.

Fabbri's case study (Fabbri et al., 2014) concerns a detached house building, of 117 m², located in Cesena, in Emilia Romagna region, Italy, simulating its construction in four different years: 1950, 1970, 1985 and 1995. For each of these case study evaluated 4 energy efficiency improvement scenarios. The building geometry was the same, but they changed, experimented and tested different thermo physical parameters.

The table below shows the Fabbri's estimates (in BAS, or "Common" Scenario, as well as in ECO or Sustainable-Green alternative Scenario) of an old construction:

- the total energy consumption in kWh/m² year (220)

and that of heating only (196) of a 1970 housing unit (75% of the Italians live in old buildings);
 – the transmittance, in W/m² K, before and after wall insulation.

Table 3 - Energy consumption in Fabbri, Tronchin and Tarabusi case study

n.	Purposes (and uses)	Apartment 117 m ²			
		kWh/m ² y			
01					
02		BAS	Green	Δ	%
03	Total	220	112	-108	-49
04	Heating	196	91	-105	-54

Source: Fabbri, K.; Tronchin, L.; Tarabusi, V. Energy retrofit and economic valuation priorities applied at an Italian case study. *Energy Procedia* 2014, Volume 45, pp. 379 – 384, doi:10.1016/j.egypro.2014.01.041

Table 4 - The transmittance U before and after wall insulation

n.	Transmittance U	Apartment 117 m ²	
		kWh/m ² y	
01			
02	U before	1,00	
03	U after	0,44	
04	%	-56	

Source: Fabbri, K.; Tronchin, L.; Tarabusi, V. Energy retrofit and economic valuation priorities applied at an Italian case study. *Energy Procedia* 2014, Volume 45, pp. 379 – 384, doi:10.1016/j.egypro.2014.01.041

From professional activity, Intorbida’s case study (Intorbida, 2013) concerns a terrace home of 80 sqm encompassing a significant installation of photovoltaic (PV) system along with the energy retrofit.

Table 5 - Energy consumption before and after energy retrofit in Intorbida case study

n.	Purposes (and uses)	Apartment 73 m ²			
		kWh/m ² y			
01					
02		BAS	Green	Δ	%
03	Total	203	49	-154	-76
04	Heating	145	45	-100	-69
05	Domestic Hot Water	58	4	-54	-93
06	kgCO ₂ /m ² y	47	14	-33	-70

Source: Intorbida, S. (2013), *La riqualificazione energetica inte-grata ed economicamente sostenibile. Strategie per la valorizzazione del patrimonio edilizio pubblico e privato mediante la riqualificazione energetica architettonicamente integrata e la relativa finanziabilità ad iso risorse*. Legislazione Tecnica, ISBN: 978-88-6219-160-9

The table shows the total, heating and DHW energy consumption in kWh/m² year, and the CO₂ emissions in kgCO₂/m² year, before and after the photovoltaic (PV) and thermo solar installation and energy retrofit.

2.4 Literature Review of Economic Valuation

The panorama of scientific literature concerning economic valuation of “Green Building” Strategy provides several important contributions, as below reported, at international as well as at country level.

2.4.1 International level

At international level, a forerunner of the economic valuation and costs-benefits analysis of “Green Building” Strategy is in Kats. It is paradigmatic to reports some of Kats’ originating literature (2003, 2006, 2010, 2018).

2.4.1.1 Kats 2003

Kats et al 2003 is the first of its kind to fully aggregate the costs and benefits of green buildings.

Specifically, the bulk of this report reviews and analyzes a large quantity of existing data about the costs and financial benefits of green buildings.

This research demonstrates that sustainable construction, or “Green Building” Strategy, is a solid financial investment, that generally yields building savings of over ten times the average initial investment required to design and construct a green building.

The benefits of green building shall include cost savings from reduced energy consumption; lower operations and maintenance costs; enhanced occupant productivity and health; etc. etc..

Annual energy saving represents the first repayment of the higher initial investment.

The research detects that: “The financial benefits of 30% reduced consumption at an electricity price of \$0.11/kWh are about \$0.44/ft²/yr, with a 20-year present value of \$5.48/ft². The additional value of peak demand reduction from green buildings is estimated at \$0.025/ft²/yr, with 20-year present value of \$0.31/ft². Together, the total 20-year present value of financial energy benefits from a typical green building is \$5.79/ft². Thus, on the basis of energy savings alone, investing in green buildings appears to be cost-effective.” (Kats al., 2003).

2.4.1.2 Kats 2006

Kats et al 2006 explores the costs and benefits derived from 30 green schools built in ten states, between 2001 and 2006. This sample of green schools, with typical

characteristic of sustainable construction, such as insulated walls and roofs, efficient heating and cooling systems, has been compared to conventional or unsustainable schools.

The research demonstrates that the green schools on average cost 2% more to build than a conventional school, about \$3 per square foot (\$3/ft²), however sustainable construction yields several financial benefits that outweigh the initial extra cost of construction: “the financial savings are about \$70 per ft², 20 times as high as the cost of going green.” (Kats et al., 2006).

2.4.1.3 Kats 2010

Kats et al 2010 analyzes data on the financial benefits and costs of green or sustainability buildings, in comparison to conventional constructions, using a sample of 170 green buildings located in 33 states and 8 countries.

The authors calculated that the Net Present Value (NPV) of 20 years of annual energy savings in a typical green building ranged from \$4 per square foot to \$16 per square foot, depending on building type and its construction and system characteristics.

Kats found that «when compared with a baseline building, green buildings in the data set reported median savings of ranging from 23% to 50%” (Kats et al., 2010, p. 16).

2.4.1.4 Kats 2018

Kats et al 2018 analyzes the financial costs and benefits, across three cities, El Paso, Philadelphia and Washington, D.C., who adopt smart surfaces solutions including, among many, cool roofs (high solar reflectance roof), green roofs (roof covered by vegetation) and solar photovoltaic (PV).

The research aims to demonstrate the economic feasibility of the green strategy at city level and finds that, adopting these sustainable solutions in cities, in addition to improving health, livability and slowing global warming, yields important financial savings of billions of dollars.

The calculated city-wide NPV of city adoption of these sustainable, or green solutions, ranges from \$538 million for El Paso to \$1.8 billion for Washington, D.C., and \$3.6 billion for Philadelphia. “If we include the estimated avoided summer tourism losses the expected NPV from city-wide adoption by our nation’s capital rises to \$4.9 billion, and for Philadelphia it rises to \$8.4 billion.” (Kats et al., 2018).

The authors demonstrate that the application of this Green or Sustainable Strategy, at city level, yields financial benefits that exceed costs (Kats et al., 2018).

The research reveals the need for further research and analysis. Additional research will help to refine cost and

benefit estimates and likely lead to increased financial benefit calculations for green building.

2.4.1.5 Hopkins 2016

After two decades from the Kats’ seminal research on economic valuation of “Green Building” Strategy, Hopkins drew a balance of research in the field, concluding as follows: “There are a lack of studies addressing upfront and lifecycle green building costs.

Her major recommendation is to perform a cost analysis to see if Green Building makes sense financially from a lifecycle perspective. No comprehensive study has been reported to see whether Green Building makes sense economically” (Hopkins, 2016).

2.4.2 Country level

At the country level, among many, a first real applied case study (Nesticò et al., 2015) provides empirical answers to the questions raised in the theoretical framework concerning economic and ecological outcomes of the green strategy in historic buildings.

The authors propose a methodological process that identifies the optimal steps from a technical and economic point of view, providing a combination of traditional architectural conservation interventions with innovative technological systems and networks. The research makes it possible to verify the cost-effectiveness of the proposed interventions through the application of a protocol that provides operators in the sector with a useful tool to select the least expensive initiatives.

The application of the model aims to select technologically advanced interventions in order to improve the energy behavior of an ancient religious structure (2,648 m²) in the province of Salerno (Campania region, Italy), transformed into a museum.

The investment decision shall take into account the results of the cost-benefit analysis, which shall reflect the positive effects related to the financial benefits in energy efficiency and renovation of buildings. Finally, the reduction of CO₂ equivalent emissions has been quantified monetarily assuming a Carbon Social Cost, CSC (or Social Cost of Carbon, SCoC) of: 60-104 \$/ton.

The analysis carried out shows how system solutions do not achieve economic convenience due to the high initial cost of interventions, which are much more expensive due to the presence of constraints. In fact, the NPV has a value close to zero.

“The initiative is, however, to be taken when evaluating the positive social and cultural effects. Conversely, the investment is extremely convenient if it benefits from the entire amount of the FESR allocated amount of € 1,043,000. [...]

If the improvement of the environmental quality caused

by the decrease of emissions of carbon dioxide resulting in the above solutions is also considered, the rate rises to 15.07% IRR" (Nesticò et al., 2015).

At country level, among many, a second applied case study (Trovato et al., 2020) provides important answers on the issue addressed, and it concerns the valuation of thermal performance and carbon footprint of three common retrofit interventions in a public building (473 m²) located in Modica (Sicily region, Italy), with the aim of providing an important approach to the design of Sustainable Buildings.

The authors emphasize the importance, in the "Green Building" Strategy, of considering not only energy efficiency but also the carbon footprint in the analysis of a retrofit of a building, this can be a useful strategy that can lead to the reduction of air pollution emissions and the improvement of well-being.

From a technological and environmental point of view, the analysis found a 58% reduction in heating demand, a 34% reduction in cooling demand and a 54% reduction in CO₂ emissions.

The second phase of the research focused on the economic-monetary analysis of the retrofit intervention, which revealed the economic insignificance of thermal insulation, due to its low performance in such a hot Climate Zone. (Trovato et al., 2020).

At the country level, among many, a third Case Study (Gabrielli et al., 2017) highlights the importance of financial analysis in the "Green Building" Strategy. The third case study, concerns 36 energy retrofit actions of 24 public buildings located in 4 different regions of Italy (Campania, Puglia, Calabria and Sicily). This research makes an in-depth economic-monetary analysis with the aim of proposing a methodology to guide the decision-making process of the public sector in the selection of energy retrofit actions and evaluate their profitability.

The proposal includes a cash flow analysis and a risk and uncertainty analysis through the Monte Carlo method. The results of the study show that: a class of shares never achieves financial viability; some stocks have a positive NPV but a rather long Pay Back Period (PBP) (over 15 years) only with the appropriate incentives; finally, a class of shares has a positive NPV and a short redemption period (less than 16 years) (Gabrielli et al., 2017).

The high focused brief literature review encourages to test if in the prototype building of the proposed case study, both:

- 01.the monetary amount of avoided pollution;
- 02.and\plus the monetary amount of saved kWh;

Their summed up can recovery the:

"Additional cost premium of passivation work» in Sustainability Scenario against BAS Scenario.

3. MATERIALS AND METHOD

3.1 The Greenest, Cheapest and Best Non-Fossil Non-Fuel Energy for Buildings

Principal solutions of climate change are a combination of strategies including a green building framework integrated with the production of green energies: non-fossil, non-fuel. In fact, "Green Buildings, or nearly Zero Energy Buildings, play a key role in overcome climate change" (Crawley et al., 2022). The thermal high performance of Green Buildings is possible through insulating construction materials, better if organic or natural or forest-based, then totally renewable and fully replenishable. Renewable (or green) energy production for buildings is not only in concentrated giant plants (hydro; sea waves; geo-thermal; solar concentration in deserts; wind parks on high mountain crests; giant green hydrogen production plants; etc.), but preferably domestically decentralized with adaptation at home of: integrated solar implants; artistic wind turbines; invisible geo thermal systems; nano tech hydrogen generator home facilities; etc..

But there is a very special energy for the buildings and the Architecture that is greener and cheaper than the: home solar; home wind; home geo thermal; home hydrogen; centralized hydro; centralized sea waves. It is the not consumed energy in buildings, *id est* the green energy efficiency in edifices, *id est* the passivated green building, and the consequent saving in consumption. Short term goal is to decrease at least of 40% (by 2030 as required in the EU Directive 2018/844) the building energy consumption. Compared to the common edifices, without energy processing, more efficient nZEBs will enable renewables to cover building needs much better. There will also be benefits in reducing peak winter and summer demand. When solar resource is limited in winter, better "*coibentated*" (insulated) nZEBs optimize photo-voltaic self-consumption (D'Agostino et al., 2022).

One key element to get edifice energy efficiency is avoiding thermal dispersions *id est* through, among other measure, the passivation or "*coibentation*" or coating or insulation or covering or paneling of buildings, especially the existing ones through Ecological Retrofitting (Krier, 1984). The coat or covering or boards or panels may be based on oil, and in this way the dependence and slavery from fossils will negatively increase. The coat or covering or boards or panels may be based on natural wood, and in this case, trees must be cleared down.

There is a more ecological solution that treasure a unique and unknown natural patrimony largely wasted and unused: the fireproof bark of *Quercus suber* Linnaeus 1775, or *suber*, or cork.

The cork is produced by the bark and collected by the debarking operation then without clearing down any

tree, instead regenerating them. This unique resource can be an original solution, many times experimented and tested in the past, and now to be generalized. The *suber* or cork, a unique natural and sustainable material, is adopted to passivate civil green buildings by the mean of cork made panels for insulation made by cork picked up from multi benefit and multi-functional original forests (La Riccia et al., 2023).



Figure 1 - Cork board production process: (a) Forests, natural origin of cork cycle; (b) Cork de-barking; (c-d) Ecological organic natural cork boards/panels production; (e) Cork: raw bark and board/panel for Green Buildings; (f) Ecological cork boards/panels make the Building: Green and Healthy. Source: Authors.

These panels/boards of cork, with a low thermal conductivity, 0.043 W/mK, are applied outside the building like a coat, and is the most efficient solutions both in summer and then in winter (Cline, 2020). The covering or panels reduce both fossil energy consumption as well as consequent CO₂ emissions of building (Barreca et al., 2015; Barreca et al., 2016; Barreca et al., 2017; Barreca et al., 2019).

This strategy is adopted also to existing buildings and new ones because it allows insulation and ventilation and so an excellent and salubrious and healthy state of comfort indoor.

When covering is made by cork there is a further additional ecological benefit: in fact, growing again on the trunk in 8-10 years, the new bark of cork

sequesters and metabolizes and destroy a big amount of CO₂ in the atmosphere. And this is an enormous additional ecological benefit of adopting cork (Spampinato et al., 2019; Barrile et al., 2021; Spampinato et al., 2021). The benefits of Building Ecological Passivation are immediate (Manganelli et al., 2019; Morano et al., 2021; Tajani et al., 2022; Nesticò et al., 2015; Fregonara et al., 2013; Fregonara et al., 2017; Marino et al., 2019; Marino et al., 2022) and their implementation take very short time, compared to years and large investments needed to build up giant plants (solar; wind; geo; hydro; waves; hydrogen) that produce renewable energy. The performance of cork boards/panels should and can be tested simulating, with the support of BEPSPs, their adoption in a Green Building Prototype.

3.2 Building Prototype

The Green Building Prototype (just "Prototype", in the sequel) is an extremely simplified building, small in size, 25 m², with six dispersing walls and very usual (in the area) architectural features: a reinforced concrete structure, the usual buffering in common bricks, common plaster and common windows (120x100 mm) characterized (in Common Scenario) by a single glazing and an aluminum frame without thermal break. The Prototype is configured as a real building on which test over the years innovative technological solutions in the civil sector, in almost the two following scenarios:

- Common Scenario, without energy efficiency and with common materials;
- Sustainable Scenario, in which there is the isolation or coibentation of the six dispersing walls through boards panels with the low thermal conductivity, 0.043 W/mK and the replacement of existing windows, with the same geometry, 120x100mm, characterized by a PVC double chamber frame and triple-glazing with argon (transmittance $U_w = 1,20 \text{ w/m}^2 \text{ k}$).

In the Sustainable Scenario the insulation is based on bio-organic natural cork panels de-rived from local cork oak forests. These panels are 6 cm thick and placed externally to the Prototype Building for, the perimeter walls and roof as a coat, and they are placed internally in the floor.

Green Building Prototype tests can demonstrate the opportunity, the feasibility and the profitability of a Green Ecological Passivation Strategy at building level and its generalization at district, city and regional level, to reduce the energy consumption of fossil energy and the consequent CO₂ emissions. This strategy gives an important reduction in the breakdown of the energy global consumptions, valued and estimated through BEPSPs.



Figure 2 - Prototype Building. Common Scenario. Source: Authors.



Figure 3 - Prototype Building. Sustainable Scenario. Source: Authors.

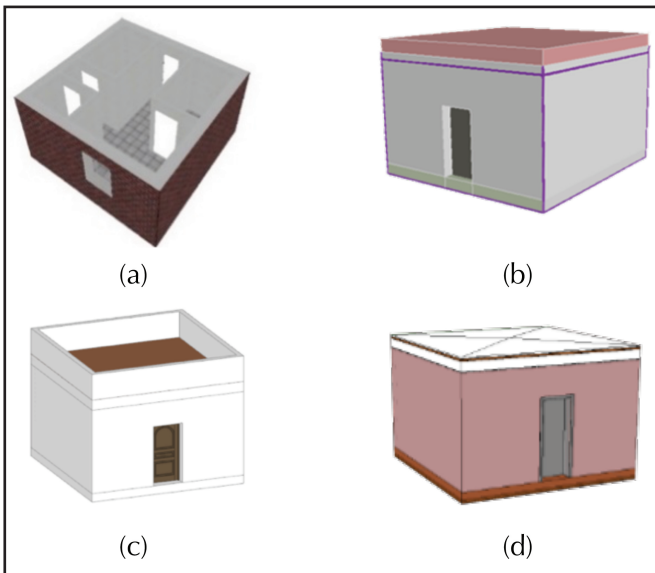


Figure 4 - Prototype Building drawing outputs from the adopted BEPSPs: (a) EnergyPlus tool; (b) Termolog tool; (c) Termus Bim tool; (d) Blumatica Bim Energy tool.

3.3 Building Energy Performance Simulation Programs (BEPSPs)

Energy simulators are used to estimate the amount of energy consumed by building in a year. The building is a very complex system and the best way to value and to test its performance it is to simulate it in real energy conditions it using, therefore, BES (Building Energy Simulation) and BPS (Building Performance Simulation) software. The latter are very powerful tools but at the same time very labile, they can be affected by different uncertainties that cause unexpected deficiencies in the accuracy of the outputs, increasing the gap between simulated and operational energy consumption. Among the uncertainties, in the panorama of the scientific specialized international literature, it is emphasized that the use of poorly representative data sets that can lead to unsuspected consequences, such as the design of a building in which energy loads and comfort conditions

are not adequately estimated, the increase in energy consumption, the addition of additional costs, lower efficiency and inadequate size of heating and cooling systems (D'Agostino et al., 2022).

There are several tools that allow to simulate and manage the climatic behavior of a building, in summer and winter, each of these software has specific features and applications, and their common feature of the various software is that they generally allow for the valuation of the energy (thermal and electrical) consumption required for each building, in kWh/y and in kWh/m² y, for: heating, DHW, lighting, cooking, summer AC, etc. They also evaluate the environmental impact assessing CO₂ building emissions. All this helps for a cost-benefit analysis of possible energy passivation works.

There is a wide range of energy simulation tools, with the ability to calculate increasingly complex energy requirements, with more variables and with a more rigorous approach. Each of these simulation tools brings unique capabilities, with different modeling approaches or specialized functionalities, that collectively contribute to a more comprehensive analysis and validation of the results (Rallapalli, 2010; Sousa, 2012).

Here, to evaluate the energy performance of the Prototype Building, in the Common Scenario and in the Sustainable Scenario, five different software are adopted, applied and synoptically compared to give greater robustness and reliability to the results: Energy Plus (Version 8.9) together with Design Builder (Version 6.1.0.006), highest international standard; Termolog Academy (Version 13), Energy Plus italian alias\clone with italian regulation; Termus Bim Educational (Version 51.00u) and Blumatica Bim ArchIt trial (Version 1.5.0.22), most popular among italian engineers, architects and land surveyors; Docet v.3.19.10.51, Governamental tool. All the tools used address two issues as goals: firstly, maximizing energy efficiency and secondly, the necessary energy supply with renewable equipments and systems. The evolution in the present research, compared to the past authors' research, is the introduction of each new tools, such as new BIM energy modeling allowing a very more complete and detailed outcomes, updating and revising previous partial results and outcomes. The level of precision of new BIM tools is high and they manage to keep the numerous variables present in a building-system combination under control through the implementation of the so-called Digital Twin and through the Building Energy Model (BEM).

3.3.1 Energy Plus (Version 8.9) together with Design Builder (Version 6.1.0.006)

Energy plus is one of the most well-known energy simulation tools, it allows the analysis of energy throughout the building and heat load. It is the most complete tool among the others BEPSPs used and is the only tool that has allowed the simulation of models for

heating, cooling, lighting, cooking, ventilation, other energy flows and water use (Rallapalli, 2010; Sousa, 2012).

Energy Plus engine is an extremely powerful energy simulation engine and Design Builder is the graphical interface. Energy Plus is tightly integrated within this module providing advanced dynamic thermal simulation at sub-hourly timesteps (Design Builder).

The analysis software for living comfort and the detailed study of the envelope allows to develop high-level projects, maximizing all aspects of bioclimatic and plant engineering. With Design Builder it is possible to perform accurate studies of thermal masses and natural ventilation flows according to external weather conditions, all under the control of dynamic operating programs.

The HVAC module, on the other hand, simulates in detail the behavior of all the plant equipment and completes the calculation model.

Energy Plus is a console-based program that reads input and writes output to text files. It comes with a number of utilities including IDF-Editor to create input files using a simple spread-sheet-like interface, EP-Launch for handling input and output files, and running batch simulations, and EP-Compare to graphically compare the results of two or more simulations (Crawley et al., 2001). It is the only one that has allowed a complete breakdown of consumption, thermal and electrical energy.

3.3.2 *Termus Bim Educational (Version 51.00u)*

Termus Bim is one of the two most popular tools among Italian engineers, architects and land surveyors for its simplicity and versatility, with a user-friendly setting. It is the only tool among others that has allowed the distribution of CO₂ emissions for the different final uses. According to specific literature, Termus was the first software for Italian Law 10, January 9th, 1991, "Energy National Plan", with object input to become a true BIM authoring specialized in energy modeling of buildings. It helps to quickly and accurately draw the energy model of the building in plan or 3D with BIM objects such as walls, doors, windows, etc. with all the energy properties (Acca Software).

Termus is able to automatically recognize the objects of the BIM model, transforming them into objects ready to be accompanied only with energy information, without the need to reconstruct their geometric characteristics. The geolocalized BIM energy model allows to automatically identify and calculate, climate data, orientations, shading, thermal bridges. The BIM drawing module of this software was the most detailed and precise tool among those used, the one that came closest to reality in the graphic construction of the Prototype and this allowed a more reliable calculation, also thanks to the possibility of being able to evaluate the heat losses through the thermal bridges present with the integrated «Atlante PT» tool.

3.3.3 *Blumatica Bim ArchIT Trial (Version 1.5.0.22)*

Blumatica Bim Energy is the second most popular tool among Italian engineers, architects and land surveyors. It is a software for energy calculation in BIM optics (Blumatica). The integration of Blumatica Bim ArchIT and Blumatica Bim Energy allows to create the architectural model by importing and tracing a DXF or DWG plan, to assign the thermophysical characteristics to the entities (walls, floors, windows, doors, etc.), to automatically calculate shading, thermal bridges, component boundaries, compartment properties (heights, surfaces, volumes, etc.), to quickly define any type of system and to carry out energy calculation and improvements. Blumatica Energy, respect to Termus Bim, do not allow to partialize CO₂ emissions for the different end uses or purposes.

3.3.4 *DOCET v.3.19.10.51*

DOCET is a Governmental tool provided free of charge by ENEA. It is a simulation tool for the energy certification of existing residential buildings. The software is updated according to the simplified calculation methodology, reported in the UNI TS 11300 technical standards and it is only applicable to existing residential buildings or units, with a usable area less than or equal to 200 m² (ENEA).

The instrument is characterized by the high simplification of the input data and the reproducibility of the analyzes, without sacrificing the accuracy of the result. This allows to reduce the time for the processing of the certificate but does not allow to accurately analyze complex structures and systems.

This tool has been considered and included, among others, because it is currently widely used by engineers, architects, etc., for its extreme simplicity and speed in achieving results and for this reason the program also has many limitations. One of the biggest limitations of this software is the lack of a drawing module, extremely important in energy calculation, which also allows to graphically define the building under study. Other limits concern the non-possibility of specifying in more detail and manually some important parameters of the structure and the system. Despite these obvious shortcomings, previously carrying out manual, punctual and precise calculations, concerning the geometry of the building and the thermophysical characteristics of the dispersing envelope, to be inserted into the platform in the form of input, the Docet is able to provide, surprisingly, a reliable result and very similar to reality.

Among all the tools tested in the simulation of the prototype building, Termolog turned out to be the most reliable, the most complete, the tool that contains all the best features found in the others.

3.3.5 Termolog v13 (ITA)

Termolog is EnergyPlus italian alias\clone with italian regulation. Termolog is the simple and powerful BIM software to design efficient buildings, reduce consumption and take advantage of tax bonuses (Logical Soft) It is the software for common cases and powerful for the most complex cases. Among the dynamic calculation thermotechnical software, Termolog by Logical Soft (totally made in Italy and developed through a research project with the Milan Polytechnic) which, by implementing the new EN ISO 52016, allows the calculation of heat losses, needs and energy consumption of buildings. Thanks to dynamic calculation, accurate diagnoses and realistic projects are carried out in just a few steps that take into account real consumption and significantly improve comfort by reducing consumption (Bim Portale). "It is the only tool among the BEPSPs that provides a dynamic hourly calculation determining the real response of the building to the climate and internal conditions of use, according to the procedure reported in the UNI EN ISO 52016:2018" (Baglivo et al., 2022).

This more comprehensive program is intended for all types of residential buildings: from detached houses to condominiums; prefabricated or site-built. It is a tool that contains several budget metrics, including total energy consumption, CO₂ emissions and cost savings.

The interface is structured to focus on geometric modeling and energy analysis. Termolog is equipped with many wizards to simplify the work phases.

The Thermal Bridge Wizard identifies and inserts discontinuity due to the thermal bridge on the dispersing structures of the energy model. Another wizard simplifies the insertion of all dispersions from XLS files, importing directly the building and the thermal zones. It is the software for sustainability analysis and reporting.

Thanks to its innovative approach, it is possible to simulate and compare multiple design scenarios in the preliminary stages of the project. During the feasibility study it is possible to determine the consumption you want to achieve by making a quick preliminary analysis of the impact of the building based on the technologies chosen.

With Termolog it is possible to redevelop and design buildings with high energy performance according to nZEBs standards and minimum environmental criteria (CAM) (Bim Portale).

4. CASE STUDY. OUTCOMES OF PROTOTYPE BUILDING ENERGY PERFORMANCES

Estimate climate behavior and energy performances of Prototype Building (in the City of Reggio, Calabria, Calabria Region, in Italy) has been carried out through

five different BEPSPs tools analyzed in previous paragraphs:

- Energy Plus (Version 8.9) together with Design Builder (Version 6.1.0.006), trial;
- Termolog (Version 13); academy;
- Termus Bim (Version 51.00u); educational;
- Blumatica Bim ArchIt (Version 1.5.0.22); trial;
- and DOCET v.3.19.10.51; free.

Energy simulation software provides the following: global (gl) Energy (E) Performance (P) index (EPgl) for the two different scenarios and the relative difference in absolute value and in percentage. Therefore, the behavior, performances and saving are expressed in terms of: kWh/m² year energy consumptions and CO₂ kg/m² year CO₂ emissions. For the short term 2025, planetary strategies (UNSCAP, 2019) to overcome the climate change and the global warming set the preliminary goal of -25% energy consumption and -25% greenhouse gases emission (more efficiency) in the civil sector through buildings greening and insulation with natura-based materials and products, and both of 40% by 2030 as required in the EU Directive 2018/844.

4.1.1 Outcomes of energy saving

The results from the climatic and energy assessments, simulated in Reggio Calabria, Calabria region, Italy, Climatic Zone B (with 105 days of heating, from 08 december to 23 march, 772 daydegree and an average annual temperature of 19.15 °c), are the following: by simply using a six cm thick board/panel coat, the energy saving for heating is around 71%, way above the set objective of 25% within 2025. And of 40% by 2030 as required in the EU Directive 2018/844. The building global energy saving is more than 55%, way above the set objective of 25% within 2025 and of 40% (EU Directive 2018/844).

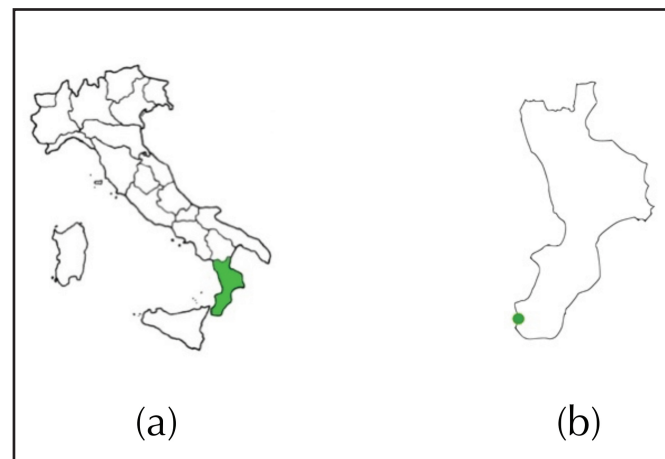


Figure 5 - (a) Italy and Calabria region; (b) Municipality in Calabria region, Italy. Reggio Calabria, location of the climatic and energy assessments. Source: Authors.

The following tables show the Prototype Building comparison of output concerning energy consumption in the Common Scenario (without energy processing) or BAS, expressed in kWh/m² y

Table 6 - Energy consumption in Common Scenario

BEPSPs	Purposes (and uses) in kWh/m ² y				
	Total	Heating	DHW	Lighting	Cooking
BAS					
EnergyPlus	332	229	70	23	10
Termolog	296	230	66	na	na
Termus	300	235	65	na	na
Blumatica	298	233	65	na	na
Docet	297	232	65	na	na

Source: Authors.

Table 7 - Energy consumption in Sustainable Scenario

BEPSPs	Purposes (and uses) in kWh/m ² y				
	Total	Heating	DHW	Lighting	Cooking
ECO					
EnergyPlus	170	66	70	24	10
Termolog	133	67	66	na	na
Termus	133	66	67	na	na
Blumatica	138	73	65	na	na
Docet	142	78	64	na	na

Source: Authors

Table 8 - Difference in absolute value and in percentage, between the alternative scenarios

BEPSPs	Total in kWh/m ² y				Heating in kWh/m ² y			
	BAS	ECO	Δ	%	BAS	ECO	Δ	%
EnergyPlus	332	170	162	49	229	66	163	71
Termolog	296	133	163	55	230	67	163	71
Termus	300	133	167	56	235	66	169	72
Blumatica	298	138	160	54	233	73	160	69
Docet	297	142	155	52	232	78	154	66

Source: Authors

The outputs of energy saving, expressed in kWh/m² year, derived from the energy simulation with the five different BEPSPs, each having its own characteristics, is extraordinarily convergent, both in absolute value and in percentage.

The passivation strategy using board/panel of cork has been tested also with ten cm thick cork boards/panels,

to valuation the impact e the thermal performance of the material, obtaining excellent results:

Table 9 - Energy consumption and difference between the two alternative scenarios

BEPSPs	Purposes (and uses) in kWh/m ² y				
	Total	Heating	DHW	Lighting	Cooking
Termus					
BAS	300	235	65	na	na
ECO	110	42	67	na	na
Δ	190	193	+2	na	na
%	63	82	+3	na	na

Source: Authors

The incredible performance of cork panels has been confirmed, using Termus Bim tool cited above, with surprising results of energy saving both for total consumption, 63%, and for heating only, 82%.

The results from the climatic assessment with the Termus Bim tool, simulated in Cortina d'Ampezzo (Belluno, BI), Climatic Zone F (with 365 days of heating, 4,433 daydegree and an average annual temperature of 7.3 °c), follow:

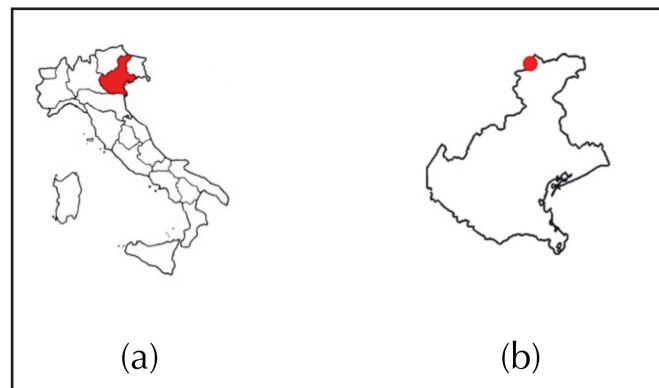


Figure 6 - ((a) Italy and Veneto region; (b) Municipality in Veneto region, Italy. Cortina d'Ampezzo, location of the climatic and energy assessments. Source: Authors.

Table 10 - Energy consumption in Cortina d'Ampezzo of the two alternative scenarios

BEPSPs	Purposes (and uses) in kWh/m ² y				
	Total	Heating	DHW	Lighting	Cooking
Termus					
BAS	968	892	76	na	na
ECO	378	301	77	na	na
Δ	590	591	+1	na	na
%	61	66	+1	na	na

Source: Authors

The passivation strategy by simply using a six cm thick board/panel of cork has been tested in two different Climatic Zones, B and F, obtaining excellent results. The incredible performance of cork panels has been confirmed even in an extreme climatic zone, using Termus Bim tool cited above, with surprising results of energy saving both for total consumption, 61%, and for heating only, 66%.

4.1.2 Outcomes of avoided CO₂ emissions

Energy saving favors several benefits including an ecological-environmental benefit, because not consuming energy no carbon dioxide is emitted into the atmosphere.

The table below shows the results of the kgCO₂/m² year consumptions obtained with the test on the Prototype Building:

Table 11 - CO₂ outputs concerning energy consumption in the Common Scenario

BEPSPs	Purposes (and uses) in kWh/m ² y				
	Total	Heating	DHW	Lighting	Cooking
BAS	57	44	14	na	na
Termus	57	44	14	na	na
Blumatica	62	na	na	na	na
Docet	61	na	na	na	na

Source: Authors

Table 12 - CO₂ outputs concerning energy consumption in the Sustainable Scenario (6 cm of cork panels and class A window)

BEPSPs	Purposes (and uses) in kWh/m ² y				
	Total	Heating	DHW	Lighting	Cooking
ECO	26	13	14	na	na
Termus	26	13	14	na	na
Blumatica	29	na	na	na	na
Docet	30	na	na	na	na

Source: Authors

Table 13 - Comparison of CO₂ outputs and difference in absolute value and in percentage, between the two alternative scenarios

BEPSPs	Total in kWh/m ² y				Heating in kWh/m ² y			
	BAS	ECO	Δ	%	BAS	ECO	Δ	%
Termus	57	26	31	55	44	13	31	na
Blumatica	62	29	33	52	na	na	na	na
Docet	61	30	31	51	na	na	na	na

Source: Authors

The results of the kgCO₂/m² year consumptions obtained with the test on the Prototype Building increasing the thickness of the cork panels to 10 cm in the Sustainable Scenario follow:

Table 14 - Comparison of CO₂ outputs between the Common Scenario and the Sustainable Scenario

BEPSPs	Purposes (and uses) in kWh/m ² y				
	Total	Heating	DHW	Lighting	Cooking
BAS	57	44	14	na	na
ECO	22	8	14	na	na
Δ	35	36	0	na	na
%	62	82	0	na	na

Source: Authors

The table below shows the results of the kgCO₂/m² year consumptions obtained with the test on the Prototype Building with the Termus Bim tool, simulated in Cortina d'Ampezzo, Veneto region, Italy, Climatic Zone F:

Table 15 - Cortina d'Ampezzo comparison of CO₂ outputs between the two alternative scenarios

BEPSPs	Purposes (and uses) in kWh/m ² y				
	Total	Heating	DHW	Lighting	Cooking
BAS	184	168	16	na	na
ECO	72	56	16	na	na
Δ	112	112	0	na	na
%	61	67	0	na	na

Source: Authors

The outputs of CO₂ emissions saving, expressed in kgCO₂/m² year, derived from the energy simulation in the two different scenarios, is also convergent to a surprising degree. For Climatic Zone B, the pollution mitigation rate is about 55%, while for climatic zone f is about 61%.

Since the economic and financial impacts are of great relevance for the feasibility of the "Green Building" Strategy, a financial estimate was developed.

5. ECONOMIC VALUATION OF PASSIVATION IMPACT

5.1 Feasibility of Sustainable Solution

Making buildings green and energy efficient is the economic strategy capable to mitigating the dual drama that the world is facing: energy and consequently climate.



Very often the solution strategies are opposed by pretexts of economic non-feasibility, while the reality is exactly the opposite. There is an economic monetary convenience, as well as ecological, in the strategy of sustainability through green buildings, very often ignored. Unfortunately, this strategy is sometimes fraudulently misunderstood and devilishly distorted as an additional and passive cost and not as a decisive investment in perpetual solution of the planetary ecological problems.

There are no objective reasons to obstruct the “Green Building” Strategy. Barriers or obstacles might be the inadequate perception of users. These must be neutralized and overcome by a clear valuation and appraisal of the drivers (by explaining the immediate and multiple benefits stemming from ecological passivation).

Just a mere preliminary financial estimate highlights the convenience of sustainable scenario, not only in terms of energy saving, environmental protection, reduction of pollution and better indoor quality (Kats et al., 2003; Kats et al., 2006; Kats et al., 2010; Kats et al., 2018) but also, in the medium-long run, even in terms of a favorable monetary/financial result.

5.2 Method and Tools: Net Present Value (NPV), Energy Price and Social Cost of Carbon (SCoC)

The present research also aims to assess and verify if the additional differential upfront initial cost of the Sustainable Scenario (compared with common and unsustainable costs of usual scenario) has a Pay Back (counting the numbers of years it takes to recover the additional amount invested) of that differential in an acceptable, short-term period, and if its amount is reasonable and affordable.

The analysis period is extended up to 20 years.

The feasibility of the interventions requires measuring the financial profitability through indicators, such the NPV.

The NPV represents the monetary benefit produced by a sustainable scenario, and it is calculated as follows: with:

$$NPV = \sum_{i=0}^n \frac{CF_i}{(1+r)^i} - I_0$$

- CF_i the cash flow to the i -th year;
- r the discount rate;
- I_0 the initial investment cost.

Extensive scientific and market researches provide advice and figures regarding energy market prices:

- Gas thermal energy (€/m³): 2.73 (invoices from utility companies);

- Gas thermal energy (€/kWh): 0.25 (invoices from utility companies);

Extensive scientific and market researches provide advice and figures regarding CO₂, i.e. conservative Social Cost of Carbon (SCoC):

- Social cost of carbon (€/kg): 0.30. Equivalent environmental cost (Stern, 2006; Ackerman et al., 2010; Ackerman et al., 2012; Ceronsky et al., 2014; Clarkson et al., 2002; Griffiths et al., 2010; Hanemann, 2009; Interagency Working Group, 2015; Watkiss et al., 2005).

5.3 Outcomes of Prototype Building Economic Valuation

The energy assessment provided data on the significant savings produced by Sustainable Scenario, both in terms of energy and CO₂ emissions.

To get the monetary cost of annual energy consumption and of the CO₂ emissions of the Case Study, it is possible to turn the energy required and the emissions generated, for both scenarios, obtained from the previous energy assessment into costs by multiplying the total kWh by the unit cost of one kWh (management costs = energy need × heated area × energy cost: €/kWh) and the total kgCO₂ by the unit cost of one kgCO₂ (CO₂ emission × heated area × social cost of carbon: €/kg).

The results of the energy management costs in both scenarios, using 6 cm or 10 cm of cork panels, follow.

Table 16 - Energy management costs for Common and Sustainable scenarios (with 6 cm of cork panels)

	Energy need	Heated Area	Total Annual	Energy price	Management cost
	kWh/m ² y	m ²	kWh/y	€/kWh	€
BAS	300	18.33	5,499	0.25	1,374.75
ECO	133	18.33	2,438	0.25	609.50
Δ					-765.25
%					-55.66

Source: Authors detailed and “building works monetary estimate rics”.

Table 17 - Energy management costs for Common and Sustainable scenarios (with 10 cm of cork panels)

	Energy need	Heated Area	Total Annual	Energy price	Management cost
	kWh/m ² y	m ²	kWh/y	€/kWh	€
BAS	300	18.33	5,499	0.25	1,374.75
ECO	110	18.33	2,016	0.25	504.00
Δ					-870.75
%					-63.34

Source: Authors detailed and "building works monetary estimate rics".

Using 6 cm of cork panels in the Sustainable Scenario, the monetary cost of annual energy saving is less €765.25 (less 56% of the management costs of the Common Scenario).

Using instead 10 cm of cork panels for passivation, the monetary cost of annual energy saving is less €870.75 (less 63% of the management costs of the unsustainable scenario).

The results of the CO₂ emissions avoided in both scenarios, using 6 cm or 10 cm of cork panels, follow.

Table 18 - Social Cost of CO₂ emissions voided for Common and Sustainable scenarios (with 6 cm of cork panels).

	CO ₂ emissions	Heated Area	Total Annual	CSC price	Management cost
	KgCO ₂ /m ² y	m ²	KgCO ₂ /y	€/kg	€
BAS	57	18.33	1,045	0.30	313.50
ECO	26	18.33	477	0.30	143.10
Δ					-170.40
%					-54.35

Source: Authors.

Table 19 - Social Cost of CO₂ emissions avoided for Common and Sustainable scenario (with 10 cm of cork panels)

	CO ₂ emissions	Heated Area	Total Annual	CSC price	Management cost
	KgCO ₂ /m ² y	m ²	KgCO ₂ /y	€/kg	€
BAS	57	18.33	1,045	0.30	313.50
ECO	22	18.33	403.26	0.30	120.98
Δ					-192.52
%					-61.41

Source: Authors.

The social cost of annual CO₂ emissions avoided is less € 170.40 (-54%), using 6 cm of cork panels for passivation, and less €192.52 (-61%) using 10 cm in the Sustainable Scenario.

The research provides the financial costs involved in the construction of the alternative scenarios, based on analytic and detailed estimates, analyzed by the Authors in the previous research (Massimo et al., 2021).

The total construction costs amount of the alternative scenarios are as follows:

- € 37,156.68 for Common Scenario;
- € 40,378.00 for Sustainable using 6 cm of cork panels;
- € 43,354.73 for Sustainable using 10 cm of cork panels;

Using 6 cm of cork panels, the Sustainable Scenario implies a higher initial construction cost of € 3,221.32 due to the high quality of the materials used.

Using 10 cm of cork panels for passivation, the construction cost of the Sustainable Scenario increases to € 43,354.73 with a difference, compared to the Common Scenario, of € 6,198.05.

The results of the comparison of the investment construction costs of the two different scenarios follow.

Table 20 - Cost differential (=Δ) of sustainability (with 6 cm of cork panels)

	Total cost	Area	Volume	Cost	Cost
	€	m ²	m ³	€/m ²	€/m ³
BAS	37,156.68	25.50	81.60	1,457.12	455.35
ECO	40,378.00	26.21	83.87	1,540.56	481.44
Δ	3,221.32				
%	7.98				

Source: Authors.

The difference, in both monetary amount and percentage, is small: +3,221.32 € = 7.98%.

Table 21 - Cost differential (=Δ) of sustainability (with 10 cm of cork panels)

	Total cost	Area	Volume	Cost	Cost
	€	m ²	m ³	€/m ²	€/m ³
BAS	37,156.68	25.50	81.60	1,457.12	455.35
ECO	43,354.73	26.21	83.87	1,654.13	516.93
Δ	6,198.05				
%	14.30				

Source: Authors.

Also, by increasing the thickness of cork panels, the difference, in both monetary amount and percentage, is still small: +6,198.05 € = 14.30%.

Even if the common intervention is initially cheaper than the sustainable one from a monetary point of view, to have a different thought it is sufficient to add to the initial construction costs the energy costs, and the kgCO₂, of management discounted over the years. The result is that in a Sustainable Scenario, energy management costs, and therefore those of CO₂ emissions, decrease considerably and lead to favorable monetary savings, allowing the percentage of higher initial construction costs to be equalized in a reasonable time.

Assuming an interest rate of 4% to discount the operating costs, it is possible to estimate and discount the approximate monetary savings in the medium to long term of the interventions.

The following table shows the results of the Pay Back, in twenty years, of the differential cost of construction (€ 3,221.32), using 6 cm of cork panels for passivation:

Table 22 - Pay Back, in twenty years, of differential cost (€ 3,221.32), using 6 cm of cork panels

Years	Annual Saving	Coeff. Actual	Actual Value BAS	Actual Value ECO	Annual Present Value	Sum Up
n.	€	1/q ⁿ			€	€
1	765.25	0.96	1,319.76	585.12	734.64	734.64
2	765.25	0.92	1,264.77	560.74	704.03	1,438.67
3	765.25	0.89	1,223.53	542.45	681.07	2,119.74
4	765.25	0.85	1,168.54	518.07	650.46	2,770.20
5	765.25	0.82	1,127.29	499.79	627.50	3,397.71
6	765.25	0.79	1,086.05	481.50	604.55	4,002.26
7	765.25	0.76	1,044.81	463.22	581.59	4,583.85
8	765.25	0.73	1,003.57	444.93	558.63	5,142.48
9	765.25	0.70	962.32	426.65	535.67	5,678.15
10	765.25	0.68	934.83	414.46	520.37	6,198.52
11	765.25	0.65	893.59	396.17	497.41	6,695.94
12	765.25	0.62	852.34	377.89	474.45	7,170.39
13	765.25	0.60	824.85	365.70	459.15	7,629.54
14	765.25	0.58	797.35	353.51	443.84	8,073.39
15	765.25	0.56	769.86	341.32	428.54	8,501.93
16	765.25	0.53	728.62	323.03	405.58	8,907.51
17	765.25	0.51	701.12	310.84	390.28	9,297.79
18	765.25	0.49	673.63	298.65	374.97	9,672.76
19	765.25	0.47	646.13	286.46	359.67	10,032.43
20	765.25	0.46	632.38	280.37	352.01	10,384.4
Total			18,655.36	8,270.91		

*Rate *i* = 4% - Source: Authors.

Given a very conservative interest rate of 4% the light initial extra cost (€ 3,221) for bio ecological sustainable passivation of the building in second scenario would be paid back in a few years, in just five years (table 22). Subsequent savings, following the cost differential Pay-Back, represent pure positive added value.

In a period of twenty years, it is possible to compare the differential of the initial building cost of € 3,221.32 with the actualized energy saving at the different years: € 3,397.71 at the fifth year, € 6,198.52 at the tenth year, € 8,501.93 at the fifteenth year and € 10,384.44 at the twentieth year. Therefore, the higher differential initial passivation cost in the Sustainable Scenario seems to be equalized by the parallel energy saving, in a period of time that could be considered as adequate and reasonable. After that date, monetary profitability of sustainability growing in exponential way.

The following table shows the results of the Pay Back, in twenty years, of the differential cost of construction (€ 6,198.05), using 10 cm of cork panels in the Sustainable Scenario:

Table 23 - Pay Back, in twenty years, of differential cost (€ 6,198.05), using 10 cm of cork panels

Years	Annual Saving	Coeff. Actual	Actual Value BAS	Actual Value ECO	Annual Present Value	Sum Up
n.	€	1/q ⁿ			€	€
1	870.75	0.96	1,319.76	483.84	835.92	835.92
2	870.75	0.92	1,264.77	463.68	801.09	1,637.01
3	870.75	0.89	1,223.53	448.56	774.97	2,411.98
4	870.75	0.85	1,168.54	428.40	740.14	3,152.12
5	870.75	0.82	1,127.29	413.28	714.02	3,866.13
6	870.75	0.79	1,086.05	398.16	687.89	4,554.02
7	870.75	0.76	1,044.81	383.04	661.77	5,215.79
8	870.75	0.73	1,003.57	367.92	635.65	5,851.44
9	870.75	0.70	962.32	352.80	609.53	6,460.97
10	870.75	0.68	934.83	342.72	592.11	7,053.08
11	870.75	0.65	893.59	327.60	565.99	7,619.06
12	870.75	0.62	852.34	312.48	539.87	8,158.93
13	870.75	0.60	824.85	302.40	522.45	8,681.38
14	870.75	0.58	797.35	292.32	505.04	9,186.41
15	870.75	0.56	769.86	282.24	487.62	9,674.03
16	870.75	0.53	728.62	267.12	461.50	10,135.53
17	870.75	0.51	701.12	257.04	444.08	10,579.61
18	870.75	0.49	673.63	246.96	426.67	11,006.28
19	870.75	0.47	646.13	236.88	409.25	11,415.53
20	870.75	0.46	632.38	231.84	400.55	11,816.08
Total			18,655.36	6,839.28		

*Rate *i* = 4% - Source: Authors.

Increasing the thickness of the cork panels to 10 cm, in a period of twenty years, it is possible to compare the differential of the initial Prototype Building cost of € 6,198.05 with the actualized energy saving at the different years: € 3,866.13 at the fifth year, € 7,053.08 at the tenth year, € 9,674.03 at the fifteenth year and € 11,816.08 at the twentieth year. Therefore, the higher initial passivation cost in the sustainable scenario seems to be equalised by the parallel energy saving, in a period of time that could be considered as adequate and reasonable, only in 9 years (table 23).

Energy saving creates several benefits:

- 1) Energy and economic-monetary. kWh are not consumed and therefore do not have to be paid;
- 2) Ecological-environmental and economic-monetary. Carbon dioxide is not emitted into the atmosphere which, by doing damage, triggers the social cost of carbon. This is avoided with the "Green Building" Strategy.

The annual carbon dioxide CO₂ emissions in the two alternative scenarios amount to:

- CO₂ (BAS): 57 kg/m² year;
- CO₂ (ECO with 6 cm of cork panels): 26 kg/m² year;
- CO₂ (ECO with 10 cm of cork panels): 22 kg/m² year.

Resulting in a reduction of emissions to the extent of:

- - 31 kg/m² year, using 6 cm of cork panels;
- - 36 kg/m² year increasing the thickness of cork panels to 10 cm.

According to the scientific literature, the conservative social cost of carbon is 0.30 €/kg (Stern, 2006; Ackerman et al., 2010; Ackerman et al., 2012; Ceronsky et al., 2014; Clarkson et al., 2002; Griffiths et al., 2010; Hanemann, 2009; Interagency Working Group, 2015; Watkiss et al., 2005).

The results of the Cash Flows, in twenty years, of the social cost of carbon, using 6 cm of cork panels in the Sustainable Scenario, follow:

Table 24 - Cash Flows, in twenty years, of social cost of carbon, using 6 cm of cork panels

Years	Annual Saving	Coeff. Actual	Actual Value BAS	Actual Value ECO	Annual Present Value	Sum Up
n.	€	1/q ⁿ			€	€
1	170.40	0.96	300.96	137.38	163.58	163.58
2	170.40	0.92	288.42	131.65	156.77	320.35
3	170.40	0.89	279.02	127.36	151.66	472.01
4	170.40	0.85	266.48	121.64	144.84	616.85
5	170.40	0.82	257.07	117.34	139.73	756.58
6	170.40	0.79	247.67	113.05	134.62	891.19
7	170.40	0.76	238.26	108.76	129.50	1,020.70
8	170.40	0.73	228.86	104.46	124.39	1,145.09

Follow Tab. 24

Follow Table 24 - Cash Flows, in twenty years, of social cost of carbon, using 6 cm of cork panels

Years	Annual Saving	Coeff. Actual	Actual Value BAS	Actual Value ECO	Annual Present Value	Sum Up
n.	€	1/q ⁿ			€	€
9	170.40	0.70	219.45	100.17	119.28	1,264.37
10	170.40	0.68	213.18	97.31	115.87	1,380.24
11	170.40	0.65	203.78	93.02	110.76	1,491.00
12	170.40	0.62	194.37	88.72	105.65	1,596.65
13	170.40	0.60	188.10	85.86	102.24	1,698.89
14	170.40	0.58	181.83	83.00	98.83	1,797.72
15	170.40	0.56	175.56	80.14	95.42	1,893.14
16	170.40	0.53	166.16	75.84	90.31	1,983.46
17	170.40	0.51	159.89	72.98	86.90	2,070.36
18	170.40	0.49	153.62	70.12	83.50	2,153.86
19	170.40	0.47	147.35	67.26	80.09	2,233.94
20	170.40	0.46	144.21	65.83	78.38	2,312.33
Total			4,254.20	1,941.87		

*Rate $i = 4\%$ - Source: Authors.

Using 6 cm of cork panels in the Ecological Scenario, the amount of the social cost of CO₂ avoided, in a period of twenty years, is €2,312.33.

The following table shows the results of the Cash Flows, in twenty years, of the social cost of carbon, using 10 cm of cork panels in the Sustainable Scenario:

Table 25 - Cash Flows, in twenty years, of social cost of carbon, using 10 cm of cork panels

Years	Annual Saving	Coeff. Actual	Actual Value BAS	Actual Value ECO	Annual Present Value	Sum Up
n.	€	1/q ⁿ			€	€
1	192.52	0.96	300.96	116.14	184.82	184.82
2	192.52	0.92	288.42	111.30	177.12	316.94
3	192.52	0.89	279.02	107.67	171.34	533.28
4	192.52	0.85	266.48	102.83	163.64	696.92
5	192.52	0.82	257.07	99.20	157.87	854.79
6	192.52	0.79	247.67	95.57	152.09	1,006.88
7	192.52	0.76	238.26	91.94	146.32	1,153.19
8	192.52	0.73	228.86	88.32	140.54	1,293.73
9	192.52	0.70	219.45	84.69	134.76	1,428.50
10	192.52	0.68	213.18	82.27	130.91	1,559.41
11	192.52	0.65	203.78	78.64	125.14	1,684.55
12	192.52	0.62	194.37	75.01	119.36	1,803.91
13	192.52	0.60	188.10	72.59	115.51	1,919.42

Follow Tab. 25

Fallow Table 25 - Cash Flows, in twenty years, of social cost of carbon, using 10 cm of cork panels

Years	Annual Saving	Coeff. Actual	Actual Value BAS	Actual Value ECO	Annual Present Value	Sum Up
n.	€	1/q ⁿ			€	€
14	192.52	0.58	181.83	70.17	111.66	2,031.09
15	192.52	0.56	175.56	67.75	107.81	2,138.90
16	192.52	0.53	166.16	64.12	102.04	2,240.93
17	192.52	0.51	159.89	61.70	98.19	2,339.12
18	192.52	0.49	153.62	59.28	94.33	2,433.45
19	192.52	0.47	147.35	56.86	90.48	2,523.94
20	192.52	0.46	144.21	55.65	88.56	2,612.50
Total			4,254.20	1,641.70		

*Rate $i = 4\%$ - Source: Authors.

Using instead 10 cm of cork panels in the Sustainable Scenario, the amount of the social cost of CO₂ avoided, in a period of twenty years, is € 2,612.50.

The total annual avoided emission from the Prototype Building, over time are:

- after 1 year: total avoided kgCO₂ 192;
- after 5 years: total kgCO₂ 960;
- after 10 years: total kgCO₂ 1,920;
- after 20 years: total kgCO₂ 3,840;
- after 50 years: total kgCO₂ 9,600.

Using 6 cm of cork panels in the ecological scenario, a first sum of benefits over 20 years is: € 10,384.44 + € 2,312.33 = € 12,696.77. The only saving in energy and avoidment in CO₂ pollution recover the differential cost, and generate value add:

$12,697 / € 40,378 = 0.3145$ and so is 31.45% of total construction investment cost.

Using instead 10 cm of cork panels in the ecological scenario, the summing up energy saving amount plus avoided CO₂ amount give a first insight of the amount combined of benefits. As it follows:

€ 11,816.08 + € 2,612.50 = € 14,428.58.

The only saving in energy and avoidment in CO₂ pollution recover the differential cost, and generate value add:

$14,429 / € 43,355 = 0.3328$ and so is 33.28% of total construction investment cost.

6. DISCUSSION

The civil sector is the largest consumer of fossil energy and it is therefore also the biggest polluter and the most serious cause of climate change on the planet. An important percentage of the fossil energy consumption of civil buildings is due to the maintenance of a good

state of internal living comfort. Its better climate management can make a substantial difference in overcoming climate change because the saving reduces the fossil energy consumption of the buildings, through the nature-based passivation. The latter is a significant investment in social capital (Kats et al., 2003; Kats et al., 2006; Kats et al., 2010; Kats et al., 2018), the greatest opportunity to mitigate and overcome climate change, and it is also the smartest investment for families, users, contractors, owners, because in addition to being a permanent and long-lasting capital, it is also an immediate benefit (D'Agostino et al., 2017).

The research aims to test and quantify the economic and ecological positive effects of the building ecological transition (and passivation) experimenting it on a Prototype Building, in two comparative alternative scenarios:

- the Common Scenario (or BAS) with an ordinary construction, typical of the 60s and therefore without energy processing, which represents a starting scenario for many (90%) of the existing buildings present today in the world;
- the Sustainable Scenario (or ECO) or “Green Building” Strategy with energy processing, where, innovative and natural techniques and materials are used, which avoid further climate-changing emissions into the environment.

Since the economic and financial impacts are of great relevance for the feasibility of the “Green Building” Strategy, a financial estimate has been developed that immediately also highlighted the economic convenience of the Sustainable Scenario.

The energy consumption of both scenarios has been simulated and analyzed with five different BEPSPs, each of which provided an additional and significant contribution to the studies compared to the previous Authors' researches. The results obtained from the various simulations encourage to continue the “Green Building” Strategy: with just only 6 cm of cork panels the energy savings amount to about 71%, assuming a heating-only system, and about 55%, using a combined heating and DHW system, way above the set objective of – 40% reduction by 2030 required in the EU Directive 2018/844. CO₂ pollution is always avoided by the same percentage, way above the set objective of - 40% within 2025.

Subsequently, the Sustainable Scenario was also tested using 10 cm thick of natural cork, this confirmed and increased the incredible results obtained: the energy savings amount to about 82%, assuming a heating-only system, and about 63%, using a combined heating and DHW system.

The “Green Building” Strategy has been also tested assuming that the Prototype Building was located in an extreme alpine climate zone, Climate Zone F (Cortina d'Ampezzo, Belluno, BI, Italy), and also in this case the

strategy proved to be successful, obtaining savings of 66% by simulating a heating-only system, and 61% by simulating a combined system, way above the short term set continental objective of – 40% reduction by 2030 required in the EU Directive 2018/844.

7. FIRST CONCLUSIVE REMARKS

The research achieved the general objective of acquiring the empirical evidence of the significant benefits produced by the insulation boards panels in improving the health quality and the energy efficiency of the Prototype Building in the Case Study, and of its financial feasibility and economic profitability. The adopted board panels are made with local natural cork (then bio ecological), a unique and very healthy natural raw material which has been underused so far.

In addition, the research achieved more specific set goals.

Firstly, the valuation was applied to a key element of the research *i.e.* the Prototype Building using, to begin with, the Termolog platform. The Prototype Building is an extreme example of over simplified construction with the highest thermal dispersion rates (on all six sides) in order to see almost immediately the results of the simulations.

Secondly, the valuation, performed using the Termolog platform, showed that the ecological coat or insulation (= *coh ĩ bens; coibente;*) immediately produces a saving of over 40% in ordinary annual global energy consumption, in the above cited Prototype Building of the case study. Recalling above calculation simply using a six cm thick board panel coat, the energy saving for heating (still the largest energy consumer purpose, so far, in the region) is more than 71% (according to Termolog), and the global energy saving is 55% (according to Termolog) way above the set objective of – 40% reduction by 2030 required in the EU Directive 2018/844.

Thirdly, the new BIM platforms (Termus; Blumatica) have been adopted and applied to the prototype building of the case study. The results have been compared to those of the new updated versions of some BEPSPs, such as Energy Plus and Docet. All of them provided convergent results of the new numbers and the final estimation of global energy consumption in the Prototype Building. New information concerning a breakdown of the energy used for the different purposes *e.g.* heating, DHW, lighting, cooking, etc., can also be obtained.

Fourth, all the data obtained in terms of kWh and CO₂ emissions were multiplied by the related amounts prices and costs, the price of thermal energy and the social cost of carbon. The results gave the comparative total estimates, in both cases, of the two alternative scenario interventions. The economic analyses carried out demonstrate the economic feasibility of the proposed strategy, which allows to have, in addition to

an improvement in thermal comfort, also the reduction of the monetary expenses of energy management and the reduction of the amount of social cost of carbon. Although the initial costs or upfront costs of the sustainable intervention are higher than the common one (differential cost: €3,221.32), the overtime valuation shows how this cost differential is quickly recovered, in just five years, thanks to the significant reduction in annual energy management expenses.

This result has been achieved by discounting the annual energy savings and avoided CO₂ emissions over 20 years of the intervention by considering a conservative interest rate of 4% and valuating the two alternative scenarios. The economic valuation of the differential costs of initial intervention or upfront costs, energy management costs and the social cost of carbon of the alternatives, for periods ranging from 1 to 20 years, shows the extraordinary convenience over time, both ecological and monetary, of sustainable construction *i.e.* “Green Building” Strategy. The Green Building makes sense economically.

The research achieved the general objective and the specific goals set, obtaining the empirical evidence of the extraordinary impacts/benefits produced by insulation using extremely small ecological organic boards panels (since just six or ten cm thick) made from local natural cork in a new local circular economy structure.

Because there is a gap in the real world and a strong request in the research world (Hopkins, 2016) of appraisal concerning financial feasibility of “Green Building” Strategy, the presented research aims to contribute to answer these demands of economic valuation.

8. FUTURE FURTHER RESEARCH

The results achieved encourage to plan ahead further future researches in areas such as:

- the assessment of the climactic and thermal behavior of just the single Prototype Building envelope;
- the valuation of new empirical evidence of real estate market price premium for Green Buildings (Massimo, 2011; Massimo et al., 2012; Massimo, 2013; Del Giudice et al., 2019; De Paola et al., 2019; Massimo et al., 2019; Del Giudice et al., 2021; Del Giudice, 2021; De Paola et al., 2021; Massimo et al., 2022);
- the valuation of ecological retrofitting for energy efficiency in the Architectural Heritage (Massimo et al., 2018; Calabrò, 2020; Calabrò et al., 2021; Calabrò et al., 2022; Spatari et al., 2022; Malerba et al., 2018);
- the valuation of ecological retrofitting in landscape context (Massimo et al., 2014; Massimo et al., 2014; Massimo et al., 2019; Massimo et al., 2020);
- the build-up in real world of Prototype Edifice and the related testing;

– the valuation of energy design, healthy and sustainable (Shoshany et al., 2020; Pulselli et al., 2009; Marchettini et al., 2014; Marchi et al., 2015; Marchi et al., 2017; Pulselli et al., 2021; Armato, 2021; Follesa et al.,

2022);

– the relationship between intervention the costs and the value of the property also in terms of safety (Del Giudice, 2014; Manganeli, 2018).

* **Mariangela Musolino**, GeVaUL, Geomatic Valuation University Laboratory, Patrimony Architecture Urbanism (PAU) Department, Mediterranean University of Reggio Calabria, 25 Viale dell'Università, 89124 Reggio Calabria, Italy
e-mail: mariangela.musolino@unirc.it

** **Domenico Enrico Massimo**, GeVaUL, Geomatic Valuation University Laboratory, Patrimony Architecture Urbanism (PAU) Department, Mediterranean University of Reggio Calabria, 25 Viale dell'Università, 89124 Reggio Calabria, Italy
e-mail: demassimo@gmail.com

*** **Concettina Marino**, Department of Energy, Environment, Material Engineering, Mediterranean University of Reggio Calabria, Graziella Road, 89131 Reggio Calabria, Italy
e-mail: concettina.marino@unirc.it

**** **Pierfrancesco De Paola**, Department of Industrial Engineering, University of Naples "Federico II", 80 Vincenzo Tecchio Sq., 80125 Naples, Italy
e-mail: pierfrancesco.depaola@unina.it

***** **Roberta Errigo**, GeVaUL, Geomatic Valuation University Laboratory, Patrimony Architecture Urbanism (PAU) Department, Mediterranean University of Reggio Calabria, 25 Viale dell'Università, 89124 Reggio Calabria, Italy
e-mail: robertaerrigo23@gmail.com

***** **Alessandro Malerba**, GeVaUL, Geomatic Valuation University Laboratory, Patrimony Architecture Urbanism (PAU) Department, Mediterranean University of Reggio Calabria, 25 Viale dell'Università, 89124 Reggio Calabria, Italy
e-mail: malerbale@gmail.com

***** **Francesco Paolo Del Giudice**, Department of Architecture and Design, University of Rome "Sapienza", 9 Borghese Sq., 00186 Rome, Italy
e-mail: francescopaolo.delgiudice@uniroma1.it

Author Contributions

Authors contributed equally to the Article. All authors have read and agreed to the published version of the manuscript.

Bibliography

ACCA SOFTWARE, Software Simulazione Energetica, TerMus. (downloadable from the website: <https://www.acca.it/software-certificazione-energetica>, consulted on February 01, 2023).

ACKERMAN F., STANTON E., *The Social Cost of Carbon*. Report for the Economics for Equity and the Environment Network, 2010.

ACKERMAN F., STANTON E., *Climate Risks and Carbon Prices: Revising the Social Cost of Carbon*. Economics: The Open-Access, Open-Assessment E-Journal, 2012, Vol. 6.

ADAMCZYKA J., DYLEWSKIB R., *The impact of thermal insulation investments on sustainability in the construction sector*. Renewable and Sustainable Energy Reviews 2017, Vol. 80, pp. 421-429, doi.org/10.1016/j.rser.2017.05.173.

AGENZIA DELLE ENTRATE, Rapporto Immobiliare: il settore residenziale. 2021 (downloadable from the website: <https://www.agenziaentrate.gov.it/portale/documents/2014>

[3/262451/RI2021_Residenziale_20210520.pdf/3c102dea-0923-a86f-5371-aa57c61827f3](https://www.agenziaentrate.gov.it/portale/documents/2014/3/262451/RI2021_Residenziale_20210520.pdf/3c102dea-0923-a86f-5371-aa57c61827f3), consulted on February 01, 2023).

AGENZIA NAZIONALE PER LE NUOVE TECNOLOGIE, L'ENERGIA E LO SVILUPPO ECONOMICO SOSTENIBILE (ENEA). Docet (downloadable from the website: <https://pnpe2.enea.it/docet>, consulted on February 01, 2023).

AGENZIA NAZIONALE PER LE NUOVE TECNOLOGIE, L'ENERGIA E LO SVILUPPO ECONOMICO SOSTENIBILE (ENEA). Rapporto annuale sull'efficienza energetica: Analisi e risultati delle policy di efficienza energetica del nostro paese. 2021 (downloadable from the website: <https://www.ufficienzaenergetica.enea.it/component/jdownloads/?task=download.send&id=554&catid=9&Itemid=101>, consulted on February 01, 2023).

ALLEN J., *Designing Buildings that Are Both Well-Ventilated and Green*. Harvard Business Review 2023 (downloadable from the website: <https://hbr.org/2023/01/designing-buildings-that-are-both-well-ventilated-and-green>, consulted on February 01, 2023).

ARMATO F., *Il design e l'ospite ostile*. Narrare i Gruppi,

Latest 2021, pp. 01-06, doi.org/10.1016/j.rser.2020.110612.

AUTORITÀ DI REGOLAZIONE PER ENERGIA RETI E AMBIENTE (ARERA). Relazione annuale sullo stato dei servizi e sull'attività svolta. 2021 (downloadable from the website: https://www.arera.it/it/relaz_ann/21/21.htm, consulted on February 01, 2023).

AZA-MEDINA L.C., PALUMBO M., LACASTA A.M., GONZÁLEZ-LEZCANO R.A., *Characterization of the thermal behavior, me-chanical resistance, and reaction to fire of totora (Schoenoplectus californicus (G.A. Mey.) Sojak) panels and their potential use as a sustainable construction material*. Journal of Building Engineering 2023, Vol. 69, 105984, doi.org/10.1016/j.jobee.2023.105984.

BAGLIVO C., CONGEDO P.M., MURRONE G., LEZZI D. *Long-term predictive energy analysis of a high-performance building in a mediterranean climate under climate change*. Energy 2022, Vol. 238, 121641, <https://doi.org/10.1016/j.energy.2021.121641>.

BANCA D'ITALIA, Sondaggio congiunturale sul mercato delle abitazioni in Italia. 2021 (downloadable from the website: <https://www.bancaditalia.it/pubblicazioni/sondaggio-abitazioni/>, consulted on February 01, 2023).

BARBALACE A., MASSIMO D.E., FRAGOMENI C., *Appraisal of thermal premium in green building practice at urban scale*. Aestimium 2012, special volume, pp. 325-341, doi:10.13128/Aestimium-10714, ISSN:1724-2118.

BARRECA F., FICHERA C.R., *Thermal Insulating Characteristics of Cork Agglomerate Panels in Sustainable Food Buildings*. In: 7th International Conference on Information and Communication Technologies in Agriculture, Food and Environment. HAICTA 2015, Kavala, Greece, pp. 358-366.

BARRECA F., FICHERA C.R., *Thermal Insulation Performance Assessment of Agglomerated Cork Boards*. Wood and Fiber Science 2016, Vol. 48 (2), pp. 96-103.

BARRECA F., TIRELLA V., *A self-built shelter in wood and agglomerated cork panels for temporary use in Mediterranean cli-mate areas*. Energy and Buildings 2017, Vol. 142, pp. 1-7, doi.org/10.1016/j.enbuild.2017.03.003.

BARRECA F., GABARRON A.M., FLORES YEPES J.A., PASTOR PÉREZ J.J., *Innovative use of giant reed and cork residues for panels of buildings in Mediterranean area*. Resources, Conservation and Recycling 2019, Vol. 140, pp. 259-266, doi.org/10.1016/j.resconrec.2018.10.005.

BARRILE V., MALERBA A., FOTIA A., CALABRÒ F., BERNARDO C., MUSARELLA C., *Quarries renaturation by planting cork oaks and survey with UAV*". In Bevilacqua C., Calabrò F., Della Spina L. (eds.) *New Metropolitan Perspectives. Smart innovation, systems and technologies*, Vol. 178, pp 1310-1320, Springer 2021, Cham (Switzerland), doi:10.1007/978-3-030-48279-4_122.

BIM PORTALE. Digital construction. Termolog 13 (downloadable from the website: <https://www.bimportale.com/termolog-epix-10/>, consulted on February 01, 2023).

BLUMATICA, SOFTWARE. Edilizia e Sicurezza. Blumatica BIM ArchIT. (downloadable from the website: <https://www.blumatica.it/software-progettazione-architettonica-secondo-gli-standard-ifc/>, consulted on February 01, 2023).

blumatica.it/software-progettazione-architettonica-secondo-gli-standard-ifc/, consulted on February 01, 2023).

BOTTERO M., BRAVI M., DELL'ANNA F., MONDINI G., *Valuing buildings energy efficiency through Hedonic Prices Method: are spatial effects relevant?* Valori e Valutazioni 2018, Vol. 21, pp.28-39. ISSN: 2036-2404.

CALABRÒ F., *Integrated programming for the enhancement of minor historical centres. The SOSTEC model for the verification of the economic feasibility for the enhancement of unused public buildings*. ArcHistoR 2020, Vol. 13 (7), pp. 1509-1523, doi.org/10.14633/AHR280.

CALABRÒ F., CASSALIA G., LORÈ I., "A Project of Enhancement and Integrated Management: The Cultural Heritage Agency of Locride". In Calabrò F., Della Spina L., Piñeira Mantiñán M.J. (eds.), *New Metropolitan Perspectives, NMP 2022. Lecture Notes in Networks and Systems*, LNNS, Vol. 482, pp. 278-288. Springer Science and Business Media Deutschland GmbH 2022, doi: 10.1007/978-3-031-06825-6_27.

CALABRÒ F., MAFRICI F., MEDURI T., "The valuation of unused public buildings in support of policies for the inner areas. the ap-plication of sostec model in a case study in Condofuri (Reggio Calabria, Italy)". In Bevilacqua C., Calabrò F., Della Spina L. (eds.) *New Metropolitan Perspectives. Smart Innovation, Systems and Technologies*, SIST Vol. 178, pp. 566-579, Springer Science and Business Media Deutschland GmbH. 2021, doi.org/10.1007/978-3-030-48279-4_54.

CALABRÒ F., MASSIMO D.E., MUSOLINO M., "Measures to Face Population Decline of Small Villages: Sustainable and Integrated Energy Strategies for the Internal Areas". In *Water-Energy-Nexus in the Ecological Transition Natural-based Solutions, Advanced Technologies and Best Practices for Environmental Sustainability*, Naddeo V., Ho Choo K., Ksibi M., (eds), Springer, Cham (Switzerland), 2022, pp. 43-45, doi:10.1007/978-3-031-00808-5_11, ISBN:978-3-031-00808-5.

CERONSKY M., REVESZ R., KEOHANE N., CLEETUS R., CONVERY F., SCHWARTZ J., HOWARD P., STERNER T., JOHNSON L., WAGNER G., *Comments on the U.S. Social Cost of Carbon*. Columbia University Academic Commons, New York, USA, 2014.

CLARKSON R., DEYES K., *Estimating the Social Cost of Carbon Emissions*. Department of Environment, Food and Rural Affairs, London, UK, 2002.

CHAN M., The evidence is overwhelming: climate change endangers human health. Solutions exist and we need to act decisively to change this trajectory. 2015 (downloadable from the website: <https://www.who.int/news/item/06-10-2015-who-calls-for-urgent-action-to-protect-health-from-climate-change-sign-the-call>, consulted on February 01, 2023).

CLINE A., What are some examples of non-fossil fuels? 2020 (downloadable from the website: <https://www.quora.com/What-are-some-examples-of-non-fossil-fuels>, consulted on February 01, 2023).

CRAWLEY D.B., LAWRIE L., WINKELMANN F.C., PEDERSEN C.O.,

Energy Plus: New capabilities in a whole-building energy simulation program. Build. Simul. 2001, Vol. 33, pp. 51-58.

CRESME RICERCHE. Centri storici e futuro del paese. Indagine nazionale sulla situazione dei Centri Storici del paese. ISBN: 978-88-94108-02-6. 2017 (downloadable from the website: <http://www.cresme.it/doc/rapporti/Centristorici-e-futuro-del-Paese.pdf2>, consulted on February 01, 2023).

D'AGOSTINO D., CUNIBERTI B., BERTOLDI P., *Energy consumption and efficiency technology measures in European non-residential buildings*. Energy and Buildings 2017, Vol. 153, doi.org/10.1016/j.enbuild.2017.07.062.

D'AGOSTINO D., PARKER D., EPIFANI I., CRAWLEY D., LAWRIE L., *Datasets on Energy Simulations of Standard and Optimized Buildings under Current and Future Weather Conditions across Europe*. Data 2022, Vol. 7, p. 66, doi.org/10.3390/data7050066.

D'AGOSTINO D., PARKER D., EPIFANI I., CRAWLEY D.B., LAWRIE L., *How will future climate impact the design and performance of nearly zero energy buildings (NZEBs)?* Energy 2022, Vol. 240 122479, doi.org/10.1016/j.energy.2021.122479.

DE PAOLA P., DEL GIUDICE V., MASSIMO D.E., FORTE F., MUSOLINO M., MALERBA A., "Isovalore Maps for the Spatial Analysis of Real Estate Market: A Case Study for a Central Urban Area of Reggio Calabria, Italy". In Calabrò, F., Della Spina, L., Bevilacqua, C. (eds) *New Metropolitan Perspectives. Smart Innovation, Systems and Technologies*, Vol. 100, pp. 402-410, Springer 2019, Cham (Switzerland), doi:10.1007/978-3-319-92099-3_46.

DE PAOLA P., DEL GIUDICE V., MASSIMO D.E., DEL GIUDICE F.P., MUSOLINO M., MALERBA A., "Green Building Market Premium: Detection Through Spatial Analysis of Real Estate Values. A Case Study". In Bevilacqua C., Calabrò F., Della Spina L. (eds) *New Metropolitan Perspectives. Smart Innovation, Systems and Technologies*, vol 178, pp.1413-1422, Springer 2021, Cham (Switzerland), doi.org/10.1007/978-3-030-48279-4_132.

DEL GIUDICE V., DE PAOLA P., *Undivided real estate shares: Appraisal and interactions with capital markets*. Applied Mechanics and Materials, 2014, 584-586, pp. 2522-2527.

DEL GIUDICE V., MASSIMO D.E., DE PAOLA P., FORTE F., MUSOLINO M., MALERBA A., "Post Carbon City and Real Estate Market: Testing the Dataset of Reggio Calabria Market Using Spline Smoothing Semiparametric Method". In Calabrò, F., Della Spina, L., Bevilacqua, C. (eds) *New Metropolitan Perspectives. Smart Innovation, Systems and Technologies*, Vol. 100, pp. 206-214, Springer 2019, Cham (Switzerland), doi:10.1007/978-3-319-92099-3_25.

DEL GIUDICE V., MASSIMO D.E., DE PAOLA P., DEL GIUDICE F.P., MUSOLINO M., "Green Buildings for Post Carbon City: Deter-mining Market Premium Using Spline Smoothing Semiparametric Method". In Bevilacqua C., Calabrò F., Della Spina L. (eds) *New Metropolitan Perspectives. Smart Innovation, Systems and Technologies*, Vol. 178, pp. 1227-

1236. Springer 2021, Cham (Switzerland), doi.org/10.1007/978-3-030-48279-4_114.

DEL GIUDICE V., MASSIMO D.E., SALVO F., DE PAOLA P., DE RUGGIERO M., MUSOLINO M., "Market Price Premium for Green Buildings: A Review of Empirical Evidence. Case Study". In Bevilacqua C., Calabrò F., Della Spina L. (eds) *New Metropolitan Perspectives. Smart Innovation, Systems and Technologies*, Vol. 178, pp. 1237-1247. Springer 2021, Cham (Switzerland), dx.doi.org/10.1007/978-3-030-48279-4_115.

DESIGN BUILDER. Energy Plus Simulation. (downloadable from the website: <https://designbuilder.co.uk/35-support/tutorials/96-designbuilder-online-learning-materials>, consulted on February 01, 2023).

FABBRI K., TRONCHIN L., TARABUSI V., *Energy retrofit and economic evaluation priorities applied at an Italian case study*. Energy Procedia 2014, Vol. 45, pp. 379-384, doi:10.1016/j.egypro.2014.01.041.

FOLLESA S., ARMATO F., *L'abitare utopico (in cerca di nuove utopie)*. Narrare i gruppi 2022, Vol. 17 (1), pp. 27-38, ISSN: 2281-8960.

FREGONARA E., CURTO R., GROSSO M., MELLANO P., ROLANDO D., TULLIANI J.-M., *Environmental Technology, Materials Science, Architectural Design, and Real Estate Market Evaluation: A Multidisciplinary Approach for Energy-Efficient Buildings*. J. Urban Technol. 2013, Vol. 20, pp. 57-80, doi:10.1080/10630732.2013.855512.

FREGONARA E., LO VERSO V., LISA M., CALLEGARI G., *Retrofit Scenarios and Economic Sustainability. A Case-study in the Italian Context*. Energy Procedia 2017, pp. 245-255, ISSN: 1876-6102, doi:10.1016/j.egypro.2017.03.026.

GRIFFITHS C., KOPITS E., MARTEN A., MOORE C., NEWBOLD S., WOLVERTON A., *Estimating the "Social Cost of Carbon" for Regulatory Impact Analysis*. Resources for the Future: Weekly Policy Commentary, 2010.

HANEMANN M., *What is the Economic Cost of Climate Change?* UC-Berkeley, New Heaven, USA, 2009.

HOPKINS E.A., *An Exploration of Green Building Costs and Benefits: Searching for the Higher Ed Context*. Journal of Real Estate Literature 2016, Vol. 24, Issue 1, pp. 67-84, doi.org/10.1080/10835547.2016.12090424.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (IEA). CO₂ Emissions in 2022. 2023 (downloadable from the website: <https://www.iea.org/reports/co2-emissions-in-2022>, consulted on February 01, 2023).

INTORBIDA S., *La riqualificazione energetica integrata ed economicamente sostenibile. Strategie per la valorizzazione del patrimonio edilizio pubblico e privato mediante la riqualificazione energetica architettonicamente integrata e la relativa finanziabilità ad iso risorse*. Legislazione Tecnica 2013, Rome, ISBN: 978-88-6219-160-9.

KATS G., CAPITAL E., *The Costs and Financial Benefits of Green Buildings. A Report to California's Sustainable Building Task Force*, 2003. Sacramento, California, Usa.

KATS G., CAPITAL E., *Greening America's Schools. Costs and*

Benefits. A Capital E Report 2006, Washington, DC.

KATS G., BRAMAN J., JAMES M.R., *Greening our Built World: Costs, Benefits, and Strategies*. Island Press 2010, Washington, DC, ISBN: 978-1597266680, doi.org/10.5860/choice.48-0678.

KATS G., GLASSBROOK K., *Delivering Urban Resilience*. A Capital E Report 2018, Washington, DC.

KRIER L., *Project for the place of Filadelfia in Calabria by Leon Krier. Projet pour la place de Filadelfia en Calabre par Le-on Krier*. Archives d'Architecture Moderne 1984, Vol. 26, pp. 102-107. Archives d'Architecture Moderne edition, 6 rue Paul Spaak, 1050 Bruxelles.

LA RICCIA L., ASSUMMA V., BOTTERO M.C., DELL'ANNA F., VOGHERA A., *A Contingent Valuation-Based Method to Valuate Eco-system Services for a Proactive Planning and Management of Cork Oak Forests in Sardinia (Italy)*. Sustainability 2023, Vol. 15 (10), pp. 1-28, doi.org/10.3390/su15107986.

LOGICAL SOFT. Termolog il software per la termotecnica (downloadable from the website: <https://www.logical.it/software-per-la-termotecnica>, consulted on February 01, 2023).

MACNAUGHTON P., CAO X., BUONOCORE J., CEDENO-LAURENT J., SPENGLER J., BERNSTEIN A., ALLEN J., *Energy savings, emission re-ductions, and health co-benefits of the green building movement*. Journal of Exposure Science & Environmental Epidemiology. 2018, Vol. 28, pp. 307-318, doi.org/10.1038/s41370-017-0014-9.

MALERBA A., MASSIMO D.E., MUSOLINO M., "Valuating Historic Centers to Save Planet Soil". In Mondini G., Fattinanzi E., Oppio A., Bottero M., Stanghellini S. (eds) *Integrated Evaluation for the Management of Contemporary Cities*. Green Energy and Technology, pp. 297-311, Springer 2018, Cham (Switzerland), ISBN: 978-3-319-78270-6, doi.org/10.1007/978-3-319-78271-3_24 1.

MALERBA A., MASSIMO D.E., MUSOLINO M., NICOLETTI F., DE PAOLA P., "Post Carbon City: Building Valuation and Energy Performance Simulation Programs". In Calabrò F., Della Spina L., Bevilacqua C. (eds) *New Metropolitan Perspectives. Smart Innovation, Systems*, Vol. 101, pp. 513-521, Springer 2019, Cham (Switzerland), ISBN: 978-3-319-92101-3, ISSN: 2190-3018, doi: 10.1007/978-3-319-92102-0_54.

MANGANELLI B., VONA M., DE PAOLA P. *Evaluating the cost and benefits of earthquake protection of buildings*. Journal of European Real Estate Research, 2018, 11(2), pp. 263-278.

MANGANELLI B., MORANO P., TAJANI F., SALVO F. *Affordability Assessment of Energy-Efficient Building Construction in Italy*. Sustainability 2019, Vol. 11 (1), 249, doi.org/10.3390/su11010249.

MARCHETTINI N., BREBBIA C., PULSELLI R.M., BASTIANONI S., *The Sustainable City IX: Urban Regeneration and Sustainability*. In Ninth International Conference on Urban Regeneration and Sustainability, Vol. 191, WIT Press 2014, Ashurst Lodge, Ashurst, Southampton, SO40 7AA, UK.

MARCHI M., PULSELLI R.M., MARCHETTINI N., PULSELLI F.M., BASTIANONI S., *Carbon dioxide sequestration model of a vertical greenery system*. Ecological Modelling 2015, Vol. 306, pp. 46-56, dx.doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2014.08.013.

MARCHI M., NICCOLUCCI V., PULSELLI R.M., MARCHETTINI N., *Urban sustainability: CO₂ uptake by green areas in the historic centre of Siena*. Int. J. of Design & Nature and Ecodynamics 2017, Vol. 12, No. 4, pp. 407-417, ISSN: 1755-7445, doi:10.2495/DNE-V12-N4-407-417.

MARINO C., NUCARA A., PANZERA M.F., PIETRAFESA M., *Towards the nearly zero and the plus energy building: Primary energy balances and economic evaluations*. Thermal Science and Engineering Progress 2019, Vol. 13 (2), 100400, doi.org/10.1016/j.tsep.2019.100400.

MARINO C., NUCARA A.F., PANZERA M.F., PIETRAFESA M., SURACI F., "From Condominium to Energy Community: Energy and Economic Advantages with Application to a Case Study". In Bevilacqua C., Calabrò F., Della Spina L. (eds) *New Metropolitan Perspectives. Smart Innovation, System and Technologies*, Vol 482, pp. 1804-1817. Springer 2022, Cham (Switzerland), doi:10.1007/978-3-031-06825-6_174.

MASSIMO D.E., *Heritage conservation economics: A case study from Italy*. In Planning for Our Cultural Heritage, Coccossis, H., Nijkamp, P., (eds), Avebury Publisher, Aldershot (Uk) – Brookfield (usa) – Hong Kong – Singapore – Sydney (Au), 1995, pp. 171-189, ISBN:18-597-217-88.

MASSIMO D.E., *Valuation of urban sustainability and building energy efficiency: a case study*. Int. J. Sustainable Development 2010, Vol. 12, pp. 223-247, Nos. 2/3/4, 2009, doi:10.1504/IJSD.2009.032779, ISSN:0960-1406.

MASSIMO D.E., *Stima del green premium per la sostenibilità architettonica mediante Market Comparison Approach*. Valori Valutazioni 2011, Vol. 6, pp. 127-144.

MASSIMO D.E., MUSOLINO M., BARBALACE A., *Stima degli effetti di localizzazioni universitarie sui prezzi immobiliari*. Aestimium 2012, Vol. 72, pp. 287-298, doi:10.13128/Aestimium-10712, ISSN:1724-2118.

MASSIMO D.E., *Emerging issues in real estate appraisal: market premium for building sustainability*. Aestimium 2013, special volume, pp. 653-673, doi:10.13128/Aestimium-13171, ISSN:1724-2118.

MASSIMO D.E., MUSOLINO M., *Mediterranean Urban Landscape. Integrated Strategies for Sustainable Retrofitting of Consolidated City*. In Society, Integration, Education. (eds) Utopias and dystopias in landscape and cultural mosaic. Visions Values Vulnerability, Vol. III, pp. 49-60, Sabiedriba, Integracija, Izglitiba 2013, Lv, ISSN:1691-5887.

MASSIMO D.E., MUSOLINO M., BARBALACE A., FRAGMENTI C., *Landscape and Comparative Valuation of Its Elements*. Agri-business, Paesaggio & Ambiente 2014, Vol. 17/2014 Special Issue 1, pp. 53-60, ISSN:2038-3371.

MASSIMO D.E., MUSOLINO M., BARBALACE A., FRAGMENTI C., *Landscape quality valuation for its preservation and*

treasuring. *Advanced Engineering Forum* 2014, Vol. 11, pp. 625-633, doi.org/10.4028/www.scientific.net/AEF.11.625.

MASSIMO D.E., *Green building: characteristics, energy implications and environmental impacts. Case study in Reggio Calabria, Italy*. *Green Building and Phase Change Materials: Characteristics, Energy Implications and Environmental Impacts* 2015, Vol. 1, pp. 71-101. Coleman-Sanders, Mildred (ed): Nova Science Publisher, Inc. Hauppauge, New York, New York, Usa. ISBN: 978-1-63482-749-2.

MASSIMO D.E., FRAGOMENI C., MALERBA A., MUSOLINO M., "Valuation supports green university: case action at Mediterranean campus in Reggio Calabria". In Calabrò F., Della Spina L. (eds) *Strategic planning, spatial planning, economic programs and decision support tools, through the implementation of Horizon/Europe2020*. *Procedia: Social & Behavioral Sciences*, Vol. 223, pp. 17-24, Elsevier 2016, Amsterdam (NL), doi:10.1016/j.sbspro.2016.05.278, ISSN:1877-0428.

MASSIMO D.E., BEVILACQUA C., PIZZIMENTI P., MAIONE C., "4 years' project MAPS-LED Natura-Bases and Innovation-LED Urban Regeneration: A Hypothesis of Green District for the Metropolitan City of Reggio Calabria". In Trillo, C. (eds) *Shaping Tomorrow's Built Environment. "Four years involved in the HORIZON 2020" project MAPS-LED*, special issues, pp.1018-1029, University of Salford 2018, Manchester (Gb).

MASSIMO D.E., MUSOLINO M., FRAGOMENI C., MALERBA A., "A Green District to Save the Planet". In Mondini G., Fattinanzi E., Oppio A., Bottero M., Stanghellini S. (eds) *Green Energy and Technology*, pp. 255-269, Springer 2018, 233 Spring Street, New York, NY 10013, ISBN: 978-3-319-78271-3, ISSN: 1865-3529. doi:10.1007/978-3-319-78271-3_21.

MASSIMO D.E., DEL GIUDICE V., DE PAOLA P., FORTE F., MUSOLINO M., MALERBA A., "Geographically Weighted Regression for the Post Carbon City and Real Estate Market Analysis: A Case Study". In Calabrò F., Della Spina L., Bevilacqua C. (eds) *New Metropolitan Perspectives. Smart Innovation, Systems and Technologies*, Vol. 100, pp. 142-149, Springer 2019, Cham (Switzerland), doi:10.1007/978-3-319-92102-3_17.

MASSIMO D.E., MUSOLINO M., MALERBA A., *Valuation to Foster-up Landscape Preservation. Treasuring New Elements through Landscape Planning*. *ArchHistoR* 2019, Vol. 6 (12), pp. 674-687, doi.org/10.14633/AHR190.

MASSIMO D.E., MUSOLINO M., MALERBA A., *Landscape, Sustainability, Accessibility Valuation*. *Agribusiness, Paesaggio & Ambiente* 2020, Vol. XXIII (1), pp.1-8, ISSN:1594-784X.

MASSIMO D. E., DEL GIUDICE V., MALERBA A., BERNARDO C., MUSOLINO M., DE PAOLA P., *Valuation of ecological retrofitting technology in existing buildings: A real-world case study*. *Sustainability* 2021, Vol. 13 (13), 7001, pp. 1-35, ISSN: 2071-1050, doi: 10.3390/su13137001.

MASSIMO D. E., DE PAOLA P., MUSOLINO M., MALERBA A., DEL GIUDICE F.P., *Green and Gold Buildings? Detecting Real*

Estate Market Premium for Green Buildings through Evolutionary Polynomial Regression. *Buildings* 2022, Vol. 12 (5), p. 621, doi.org/10.3390/buildings12050621.

MASSIMO D. E., DEL GIUDICE V., MUSOLINO M., DE PAOLA P., DEL GIUDICE F.P., "A Bio Ecological Prototype Green Building To-ward Solution of Energy Crisis". In Calabrò F., Della Spina L., Mantinan Pineira M. J. (eds) *New Metropolitan Perspectives. Lecture Notes in Networks and Systems*, Vol. 482, pp. 713-724, Springer 2022, Cham (Switzerland), doi.org/10.1007/978-3-031-06825-6_67.

MASSIMO D. E., DEL GIUDICE V., MUSOLINO M., DE PAOLA P., DEL GIUDICE F.P., "Green Building to Overcome Climate Change: The Support of Energy Simulation Programs in Gis Environment". In Calabrò, F., Della Spina, L., Pineira Mantinan, M.J. (eds) *New Metropolitan Perspectives. Lecture Notes in Networks and Systems*, Vol 482, pp. 725-734, Springer 2022, Cham (Switzerland), doi.org/10.1007/978-3-031-06825-6_68.

MINISTERO DELLA TRANSIZIONE ECOLOGICA. La situazione energetica nazionale nel 2020. 2021 (downloadable from the website: https://dgsaie.mise.gov.it/pub/sen/relazioni/relazione_annuale_situazione_energetica_nazionale_dati_2020.pdf, consulted on February 01, 2023).

MONETTI V., *Scalable dynamic simulation-based methodology for the energy retrofit of existing buildings*. Ph.D's Thesis, Politecnico di Torino, Torino Energy Department, 2015.

MORANO P., TAJANI F., GUARINI M.R., SICA F., *A Systematic Review of the Existing Literature for the evaluation of Sustainable Urban Projects*. *Sustainability* 2021, Vol. 13, 4782, doi:10.3390/su13094782.

MUSOLINO M., MASSIMO D.E., *Evaluation Models to Aid Choice of Investments Regarding Building Stocks in Mediterranean Urban Landscape*. *Agribusiness Paesaggio & Ambiente* 2019, Vol. XXII (1), pp. 74-80, ISBN:978-88-942329-0-5.

NAPOLI G., GABRIELLI L., BARBARO S., *The efficiency of the incentives for the public buildings energy retrofit. The case of the Italian Regions of the "Objective Convergence"*. *Valori e Valutazioni* 2017, Vol. 18, pp. 25-39, doi:10.3390/su12083460.

NESTICÒ A., PIPOLO O., *A protocol for sustainable building interventions: Financial analysis and environmental effects*. In. *J. Bus. Intell. Data Min.* 2015, Vol. 10, pp. 199-212, doi:10.1504/IJBIDM.2015.071325.

NESTICÒ A., MACCHIAROLI M., PIPOLO O., *Costs and Benefits in the Recovery of Historic Buildings: The Application of an Economic Model*. *Sustainability* 2015, Vol. 7, pp. 14661-14676, doi:10.3390/su71114661.

NEW SCHOOL OF ARCHITECTURE & DESIGN, SAN DIEGO (CAL., USA). 10 Benefits of Green Building. (downloadable from the website: <https://newschoolarch.edu/blog/10-benefits-of-green-building/>, consulted on February 01 2023).

PULSELLI R.M., SIMONCINI E., MARCHETTINI N., *Energy and emery based cost-benefit evaluation of building*

envelopes relative to geographical location and climate. *Building and Environment* 2009, Vol. 44, pp. 920-928, doi:10.1016/j.buildenv.2008.06.009.

PULSELLI R.M., BROERSMA S., MARTIN C.L., KEEFFE G., BASTIANONI S., VAN DEN DOBBELSTEEN A., *Future city visions. The energy transition towards carbon-neutrality: lessons learned from the case of Roeselare, Belgium*. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 2021, Vol. 137, 110612, doi.org/10.1016/j.rser.2020.110612.

RALLAPALLI, H.S., *A comparison of EnergyPlus and eQuest whole building energy simulation results for a medium sized office building*. Master's Thesis, Arizona State University, Tempe, AZ, USA, 2010.

RITCHIE H., ROSER M., ROSADO P., CO₂ and Greenhouse Gas Emissions. 2017 (downloadable from the website: <https://ourworldindata.org/team>, consulted on February 01, 2023).

RUGGERI A.G., GABRIELLI L., SCARPA M., *Energy Retrofit in European Building Portfolios: A Review of Five Key Aspects*. *Sustainability* 2020, Vol. 12, 7465, doi:10.3390/su12187465.

SHOSHANY M., SHAPIRA A., NIR-GOLDENBERG S., DE PAOLA P., *Progression of Greenway Corridors Through Conflict: Cellular Automata Simulation and AHP Evaluation*. *Environmental Modeling & Assessment* 2023, doi.org/10.1007/s10666-023-09901-5.

SOUSA J., *Energy simulation software for buildings: Review and comparison, 2012* (downloadable from the website: <https://www.semanticscholar.org/paper/Energy-Simulation-Software-for-Buildings-%3A-Revie-Sousa/b4b6593df77024a585b68d066bf2bd668838f852>, consulted on February 01, 2023).

SPAMPINATO G., MASSIMO D E., MUSARELLA C., DE PAOLA P., MALERBA A., MUSOLINO M., "Carbon sequestration by cork oak forests and raw material to built up post carbon city". In Bevilacqua C, Calabrò F, Della Spina L. (eds) *Smart innovation, systems and technologies. smart innovation, systems and technologies*, Vol. 101, p. 663-671, Springer 2019, Cham (Switzerland), ISBN: 978-3-319-92101-3, ISSN: 2190-3018, doi:10.1007/978-3-319-92102-0_72.

SPAMPINATO G., MALERBA A., CALABRÒ F., BERNARDO C., MUSARELLA C., "Cork oak forest spatial valuation toward post carbon city by CO₂ sequestration". In Bevilacqua C., Calabrò F., Della Spina L. (eds.) *New Metropolitan Perspectives. Smart innovation, systems and technologies*,

Vol. 178, pp 1321-1331, Springer 2021, Cham (Switzerland), doi:10.1007/978-3-030-48279-4_123.

SPATARI G., LORÈ I., VIGLIANISI A., CALABRÒ F., "Economic Feasibility of an Integrated Program for the Enhancement of the Byzantine Heritage in the Aspromonte National Park. The Case of Staiti". In Calabrò F., Della Spina L., Piñeira Mantiñán M.J. (eds.) *New Metropolitan Perspectives. Lecture Notes in Networks and Systems*, Vol. 482, pp. 313 - 323, Springer Science and Business Media Deutschland GmbH 2022, doi:10.1007/978-3-031-06825-6_30.

STERN N., *The Economics of Climate Change. The Stern Review*. Cambridge University Press Cambridge, 2006, UK.

INTERAGENCY WORKING GROUP ON SOCIAL COST OF CARBON, UNITED STATES GOVERNMENT. *Technical Support Document: Technical Update of the Social Cost of Carbon for Regulatory Impact Analysis - Under Executive Order 12866*. Revised July 2015.

TAJANI F., MORANO P., DI LIDDO F., DOKO E., MARIA TORRE C., *An Evaluation Methodology for the Feasibility Analysis of Energy Retrofit Investments*. In International Conference on Computational Science and Its Applications. ICCSA 2022, Gervasi O., Murgante B., Misra S., Rocha Ana Maria A. C., Garau C. (eds) Springer Nature 2022, Cham (Switzerland), pp. 15-26, dx.doi.org/10.1007/978-3-031-10548-7.

TROVATO M.R., NOCERA F., GIUFFRIDA S., *Life-Cycle Assessment and Monetary Measurements for the Carbon Footprint Reduction of Public Buildings*. *Sustainability* 2020, Vol. 12, 3460, doi:10.3390/su12083460.

UN SECRETARIAT CLIMATE ACTION PLAN (UNSCAP). United Nations Secretariat Climate Action Plan 2020-2030. 2019 (downloadable from the website: <https://www.un.org/management/sites/www.un.org.management/files/united-nations-secretariat-climate-action-plan.pdf>, consulted on February 01 2023).

WATKISS P., ANTHOFF D., DOWNING T., ET AL., *The social costs of carbon (SCC) review: methodological approaches for using SCC estimates in policy assessment*. AEA Technology Environment, Department for Environment, Food and Rural Affairs, London, 2005.

WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION (WMO). The Melting of Cryosphere is Undeniable. 2022 (downloadable from the website: <https://public.wmo.int/en/resources/met-oworld/melting-of-cryosphere-undeniable>, consulted online on February 01, 2023).

Valutazione economica del risparmio energetico negli edifici verdi, supportata da nuove piattaforme BIM

*Mariangela Musolino**,
*Domenico Enrico Massimo***,
*Concettina Marino****,
*Pierfrancesco De Paola*****,
*Roberta Errigo******,
*Alessandro Malerba******,
*Francesco Paolo Del Giudice******

Parole chiave: edificio verde, efficienza energetica, cambiamento climatico, estimo, valutazione, programmi di simulazione delle prestazioni energetiche (Energy Performance Simulation Programs, EPSPs)

Abstract

Il cambiamento climatico è la crisi più letale che l'umanità deve affrontare. La maggior parte (99%) degli scienziati concorda sul fatto che il cambiamento climatico è causato dall'uomo. Secondo l'evidenza empirica, questa tragedia ecologica è radicata principalmente nell'enorme produzione e consumo di energia fossile a livello mondiale. Il settore civile, compresi gli insediamenti, è il «più grande consumatore di energia fossile e inquinatore con conseguenti emissioni di CO₂» al mondo.

La bioedilizia, e quindi la decarbonizzazione degli edifici con l'efficienza energetica e quindi il risparmio anche mediante cappotto ecologico, è l'unico modo per garantire uno sviluppo sostenibile e per superare il cambiamento climatico. Tale approccio è definibile: Strategia "Green Building".

L'obiettivo della ricerca è quello di testare una soluzione strategica, applicata al settore civile, valutata attraverso nuovi strumenti di valutazione tra cui le nuove piattaforme BIM. Sono stati testati comparativamente alcuni importanti programmi di simulazione delle prestazioni energetiche degli edifici in un caso di studio sperimentato in un semplice edificio prototipo. Uno dei passaggi specifici della presente ricerca è quello di valutare se il

cappotto ecologico produca un risparmio fino ad almeno il 40% dei consumi energetici dell'edificio nel breve-medio termine, ovvero entro il 2030, come previsto dalla Direttiva UE 2018/844, e se sia economicamente fattibile. La passivazione dell'edificio prototipo comune ed inefficiente è realizzata utilizzando pannelli bioecologici realizzati con materiali naturali. Utilizzando semplicemente un pannello di sei o dieci centimetri di spessore, il risparmio energetico per il riscaldamento si aggira intorno al 71% o 82%, ben al di sopra dell'obiettivo fissato del 40% entro il 2030 come previsto dalla Direttiva UE 2018/844. Il risparmio energetico globale dell'edificio è sempre superiore al 55%. La ricerca ha raggiunto l'obiettivo generale e l'obiettivo specifico prefissato, ottenendo l'evidenza empirica degli straordinari impatti / benefici prodotti dall'isolamento con pannelli di dimensioni estremamente ridotte realizzati con sughero naturale locale in una struttura di economia circolare locale. Poiché gli impatti economici e finanziari sono di grande rilevanza per la fattibilità della Strategia "Green Building", è stata elaborata una stima finanziaria che ha immediatamente evidenziato anche la redditività economica e la convenienza di fattibilità finanziaria dello Scenario Sostenibile, valutando un favorevole Pay Back \re-

cupero monetario (entro soli cinque anni dall'intervento ecologico) del differenziale costo aggiuntivo dovuto alle opere aggiuntive di passivazione. C'è una lacuna nel mondo reale e una forte richiesta nel mondo

della ricerca (Hopkins, 2016) di valutazione riguardante la fattibilità finanziaria della Strategia "Green Building", e la ricerca presentata mira a contribuire a rispondere a queste esigenze di valutazione economica.

1. INTRODUZIONE

Secondo le crescenti evidenze empiriche e le scoperte scientifiche, il cambiamento climatico e il relativo riscaldamento globale sono le crisi più letali e gravi che oggi l'umanità deve affrontare, con il rischio di una probabile irreversibilità. Diverse Organizzazioni internazionali scientifiche ufficiali, tra cui l'Organizzazione Meteorologica Mondiale, WMO (WMO, 2022) e l'Organizzazione Mondiale Della Sanità, OMS, ritengono che «il cambiamento climatico sia la più grande minaccia per la salute globale» (Chan, 2015). I segnali caotici di questa crisi sono evidenti, innegabili, catastrofici e quasi irreversibili:

- rilevazione oggettiva dell'inquinamento emesso (gas che intrappola il calore) e dei conseguenti problemi respiratori come allergie, malattie e decessi;
- effetto serra nell'atmosfera, causato dall'inquinamento;
- intrappolamento del calore;
- progressivo aumento del calore della terra;
- conseguente aumento, a livello mondiale, del raffrescamento degli ambienti interni con aria condizionata (AC, Air Conditioning, parte dell'HVAC, Heating, Ventilation e Air Conditioning, che costituisce quasi la metà del nostro consumo totale di energia fossile);
- inquinamento supplementare;
- ulteriore aumento del calore terrestre;
- conseguente scioglimento di entrambi i poli, ghiacciai, permafrost e nevai;
- innalzamento del livello e delle temperature di mari e oceani;
- turbolenze atmosferiche aggiuntive;
- eventi meteorologici estremi;
- nubifragi e violenti temporali che si alternano a lunghi periodi di siccità;
- perdita dei raccolti;
- desertificazione e ricorrenti incendi boschivi inarrestabili;
- conseguente diminuzione della produzione agricola;
- fame, carestia, emigrazione di massa;
- etc.

Si prevede che la tendenza all'uso eccessivo dell'aria condizionata durante il periodo estivo continuerà ad aumentare e ad esacerbarsi a causa del continuo aumento del riscaldamento della terra e dell'esagerato innalzamento degli standard di vita e dei requisiti del settore edile (Aza-Medina et al., 2023).

«La maggior parte (99%) degli scienziati concorda sul fatto che il cambiamento climatico è causato dall'uomo» (D'Agostino et al., 2022): è chiaro, dalla valutazione e da indagini approfondite, che la tragedia ecologica, di cui sopra, è causata dall'uomo ed è radicata e guidata principalmente dalla produzione e dal consumo annuale di energia fossile (espressa in: milioni di tonnellate equivalenti di petrolio, mtep; 1 mtep=11,63 tera Watt ora) a livello mondiale:

- un'enorme quantità di produzione di energia fossile (secondo alcune statistiche risalenti già al 2018: mtep $14.282 \times 11,63 = 166.000$ tera Watt ora) (IEA, 2023);
- un elevato consumo di energia (secondo alcune statistiche risalenti già al 2018: mtep $9.938 \times 11,63 = 115.000$ tera Watt ora) (IEA, 2023);
- un elevato/significativo spreco, in dispersione e perdita nel trasporto, di energia (circa 51.000 tera watt ora) (IEA, 2023).

Oggi l'energia annua prodotta a livello mondiale deriva principalmente da fonti fossili-legnose (carbonio, petrolio, gas e bio massa - cellulosa) la cui combustione emette i letali gas serra (IEA, 2023).

Dalla valutazione si evince che il settore civile «integrato» (cave, materiali, costruzioni, edifici, climatizzazione e altre gestioni operative immobiliari, insediamenti mondiali, ecc., che costituiscono circa il 10% del PIL mondiale) rappresenta a livello mondiale: circa il 40% del consumo totale di energia (fino al 70% nelle aree urbane), circa il 40% delle emissioni totali di CO₂ (36.800.000.000 tonnellate stimate nell'anno Covid 2022 [AIE, 2023]), 38.003.269.271 tonnellate stimate nel 2017 (Ritchie et al., 2017) «e oltre il 55% del consumo planetario di elettricità» (Chan, 2015). Di conseguenza, il settore civile "integrato", è da ritenersi «il più grande consumatore di energia da fonte fossile (con conseguenti emissioni di CO₂) al mondo:

«Gli edifici consumano circa il 40% dell'energia globale – il 70% in alcune grandi città – e sono quindi uno dei principali responsabili del riscaldamento globale» (Allen, 2023).

«Gli edifici costruiti oggi saranno in uso per i decenni a venire e, in quanto tali, le decisioni sulla loro progettazione e sulle misure di efficienza energetica influenzeranno in modo sostanziale i progressi nella mitigazione del cambiamento climatico e nella riduzione dell'inquinamento atmosferico» (Allen et al., 2018).

È chiaro dalla valutazione che, al fine di mitigare questa crisi ecologica (ed evitare la sua fatale irreversibilità), una

priorità e una strategia generale, tra le altre, è quella di «rendere verde» l'intero settore civile e gli insediamenti a livello mondiale («il più grande consumatore e inquinatore del mondo») perseguendo diversi obiettivi per ridurre in modo permanente e strutturale il consumo locale e mondiale di energia fossile e le relative conseguenti emissioni di gas serra (Adamczyk et al., 2017).

La ricerca suggerisce anche obiettivi tattici di breve/medio termine al fine di rendere più fattibile l'obiettivo strategico di lungo periodo. Tali obiettivi tattici includono (tra l'altro):

- un miglioramento del livello di efficienza energetica degli edifici (+25% al 2025) attraverso l'adozione di materiali naturali a basso impatto ambientale, in un'economia circolare basata sulla natura;
- una conseguente e parallela significativa riduzione (-25% al 2025) delle relative emissioni di carbonio.

Obiettivi confortati da indicazioni dell'Unione Europea:

- l'UNSCAP, 2019, «meno del 25% di consumi ed emissioni entro il 2025»;
- la Direttiva UE 2018/844 impone un -40% di risparmio energetico entro il 2030.

Sulla base di prove e scoperte scientifiche, le organizzazioni internazionali e intergovernative, i governi federali più influenti, le più grandi economie del mondo insieme al numero crescente delle più grandi aziende e società del mondo hanno preso decisioni strategiche per affrontare e, si spera, superare il cambiamento climatico, il riscaldamento globale e la conseguente tragedia ecologica. Queste decisioni sono «ufficialmente» molto chiare e ferme: «rendere più verde e decarbonizzare il mondo», l'unico modo per garantire un futuro sano, benessere e un grande sviluppo economico efficiente. Le suddette decisioni strategiche internazionali impegnano tutti gli Stati e le società civili del mondo a superare le cause del disastro ecologico che sta distruggendo l'umanità, la vita e l'intero Pianeta.

La prima scelta strategica è quella di «rendere verde e decarbonizzare il settore civile, ovvero l'industria delle costruzioni e la relativa gestione, al fine di ridurre il consumo di energia fossile e le sue conseguenti emissioni di carbonio, soprattutto negli edifici già esistenti (circa il 90% del totale mondiale), mediante «passivazione», ovvero mediante l'esecuzione di un «retrofitting architettonico ecologico» (Krier, 1984) sull'edificio e perseguendo una politica di energia quasi zero nelle nuove costruzioni. Questo, in generale, consiste nel rivestire l'intero edificio con pannelli di materiale ecologico.

«Alcuni dei materiali più comunemente utilizzati per la coibentazione nel settore delle costruzioni sono, tra gli altri, il polistirene espanso, le schiume poliuretatiche, la fibra di vetro, la lana di roccia, che sono ad alta intensità energetica e possono porre alcune preoccupazioni a livello ambientale a causa dell'uso di prodotti derivati dal petrolio o dell'uso di composti chimici nocivi nel loro processo di pro-

duzione» (Aza-Medina et al., 2023).

«Nella strategia definita, il miglioramento delle prestazioni termiche degli edifici utilizzando materiali naturali (=«efficienza sostenibile») a basso impatto ambientale è uno degli aspetti chiave che possono contribuire a ridurre il consumo energetico su scala globale e l'impronta di carbonio nel settore mondiale dell'edilizia civile» (Aza-Medina et al., 2023).

«Gli edifici ecologici e salubri evitano l'uso di materiali da costruzione che possono contenere composti organici volatili (COV) nocivi o sottoprodotti nocivi o plastici noti per rilasciare fumi tossici e cancerogeni negli ambienti interni ed esterni. Non ha senso avere un edificio che danneggia la nostra salute dove le persone si ammalano all'interno. Invece: tutti possiamo e dobbiamo avere: - bioedilizia; - buona qualità dell'aria interna; - miglioramento della qualità dell'aria esterna!» (Nuova Scuola di Architettura e Design).

Pertanto, i materiali suggeriti non derivano dal «ciclo fossile» (carbone, petrolio, gas), ma provengono da aree naturali regionali e locali e questo fattore contribuisce all'economia circolare locale e regionale e allo sviluppo sostenibile locale e regionale.

Nella strategia generale, i materiali scelti devono essere di origine naturale e salubri al fine di ottenere molteplici co-benefici dal «retrofitting» ecologico o dalla nuova costruzione di un edificio.

Ogni materiale deve possedere le seguenti caratteristiche:

- verde, più efficiente dal punto di vista energetico;
- sano, in possesso di un'elevata Qualità Ambientale Indoor (QAI);
- eco, con zero o piccole emissioni di gas serra, contribuendo a un'elevata qualità ambientale esterna (QAE);
- sfasante, con riduzione dei picchi della domanda di energia ed elettricità perché il materiale naturale ha un significativo sfasamento termico, ovvero ritarda la trasmissione all'interno dell'edificio soprattutto del calore estivo esterno (e del freddo invernale) e possiede caratteristiche di cambiamento di fase; ciò aiuta ad evitare e a mitigare i pericolosi picchi della domanda di energia per la climatizzazione estiva;
- sostenibile, ovvero per ottenere la materia prima, gli alberi non vengono abbattuti, ma rivitalizzati attraverso una decortica unica che si traduce nella conservazione del capitale forestale e nell'ulteriore valorizzazione della copertura boschiva totale;
- neutrale nel ciclo di vita (Life Cycle, LC), secondo l'Harvard framework dei «co-be [benefici] dell'ambiente costruito», e infatti l'equilibrio del ciclo della produzione dei pannelli naturali è neutro o negativo per quanto riguarda le emissioni di gas serra e degli inquinanti atmosferici (il carbonio sequestrato è maggiore del carbonio emesso nell'intero processo produttivo) (Allen, 2023; Allen et al., 2018).

Inoltre, nella strategia generale, i pannelli naturali, che sono stati accuratamente testati nei laboratori ufficiali, hanno fornito una risposta positiva per quanto riguarda le caratteristiche termiche ed ecologiche quali:

- permeabilità, per edifici salubri e privi di umidità;
- sfasamento, utile a rallentare il passaggio del calore estivo esterno all'ambiente interno dell'edificio;
- coibentazione, utile per tenere fuori dall'edificio il freddo esterno invernale;
- insonorizzazione, per il comfort acustico e il benessere indoor.

Nell'ottica di sostenere la missione globale («superare il cambiamento climatico e il riscaldamento globale, rendendo più verdi e decarbonizzate le aree urbane e il mondo» [Massimo, 2010]) e sviluppando i precedenti studi degli Autori (Massimo, 1995; Barbalace et al., 2012; Massimo et al., 2013; Massimo, 2015; Massimo et al., 2016; Massimo et al., 2018; Malerba et al., 2019; Musolino et al., 2019; Massimo et al., 2021; Massimo et al., 2022; Massimo et al., 2022; Calabrò et al., 2022), l'obiettivo della presente ricerca è quello di testare e valutare una soluzione strategica applicata al settore civile, anche grazie a nuovi strumenti di valutazione tra cui le nuove piattaforme BIM (Building Information Modeling) in aggiunta ai precedenti software di simulazione delle prestazioni energetiche degli edifici BEPSPs (Building Energy Performance Simulation Programs), BIM e BEPSPs sono testati su un semplice Edificio Prototipo considerato come caso di studio.

Di conseguenza, il *primo obiettivo* prefissato della presente ricerca è l'ulteriore applicazione della valutazione energetica all'elemento chiave per la sperimentazione: l'Edificio Prototipo che dà risultati quasi immediati delle simulazioni.

Il *secondo obiettivo* è quello di valutare se il cappotto, o la coibentazione ecologica (= *coh-i-bens*; coibente;), produca immediatamente un risparmio fino ad almeno il 25% (-40% di risparmio energetico entro il 2030 secondo la Direttiva UE 2018/844) del consumo energetico totale del caso di studio sopra citato, passivato utilizzando pannelli ecologici, realizzati con materiali naturali.

Il *terzo obiettivo* della presente ricerca (implicito nei due precedenti) è quello di testare le più recenti piattaforme BIM, utilizzate nella valutazione del consumo energetico nell'Edificio Prototipo, includendo anche l'uso comparativo sistematico delle nuove versioni di alcuni BEPSPs, che forniscono numeri più significativi e una stima finale del consumo energetico totale (considerando più usi e scopi finali rispetto agli studi precedenti) nell'Edificio Prototipo. In questo modo si possono ottenere anche nuove informazioni relative alla ripartizione dell'energia utilizzata per i diversi scopi (riscaldamento, ACS, Acqua Calda Sanitaria, illuminazione, cottura, condizionamento, ecc. ecc.). Pertanto, la valutazione del comportamento termico del caso di studio viene eseguita non con una ma con diverse piattaforme BEPSPs. La sperimentazione mira a valutare il consumo complessivo e la convergenza tra i diversi risultati quantitativi.

Il *quarto obiettivo* della presente ricerca è quello di dimostrare la fattibilità economica della strategia sostenibile proposta, attraverso un'analisi finanziaria basata sul risparmio energetico e sulle emissioni di CO₂ evitate ottenute dalla passivazione, che quantifichi gli impatti economici positivi dell'intervento sostenibile, secondo la forte richiesta di valutazione economica (riguardante la fattibilità finanziaria della strategia "Green Building") proveniente dal mondo reale e dal mondo della ricerca (Hopkins, 2016).

2. REVISIONE DELLA LETTERATURA

2.1 Revisione della Letteratura Internazionale

Le organizzazioni internazionali, come l'Organizzazione Mondiale della Sanità (OMS), accertano e avvertono che: «Il cambiamento climatico mette in pericolo la salute umana». (Chan, 2015) Conseguenti accordi internazionali confermano che: «il cambiamento climatico è la più grande minaccia per la salute globale nel 21° secolo (Chan, 2015). L'Agenzia Internazionale dell'Energia (IEA) certifica che: «L'energia prodotta a livello mondiale deriva principalmente da fonti fossili – legno» (IEA, 2023).

Aggiornate ricerche scientifiche internazionali confermano che: «Il cambiamento climatico, guidato dalle emissioni di gas serra, è una preoccupazione globale crescente, che minaccia l'ambiente, la salute e l'economia a livello mondiale» e che «Il cambiamento climatico è riconosciuto a livello globale come una delle maggiori minacce di questo secolo, con conseguenze dure e complesse interconnesse che colpiscono l'ambiente, la salute e l'economia mondiale» (D'Agostino et al., 2022). La stessa ricerca rileva che: «Il fabbisogno energetico degli edifici è una delle maggiori fonti di emissioni di gas serra» (D'Agostino et al., 2022). Inoltre, «il settore delle costruzioni è responsabile di circa il 36% del consumo energetico e del 37% delle emissioni di gas serra. Durante l'utilizzo dell'edificio, in media, il sistema HVAC è responsabile di quasi la metà del consumo energetico totale. Si prevede che questa tendenza continuerà ad aumentare a causa del miglioramento degli standard di vita e dei requisiti del settore delle costruzioni» (Aza-Medina et al., 2023).

E ancora: «l'insediamento globale esistente è responsabile di quasi il 50% del consumo totale di energia mondiale e del 33% delle emissioni di gas serra» (Ruggeri et al., 2020). I più alti funzionari internazionali affermano che: «Le soluzioni esistono e dobbiamo agire con decisione per cambiare questa traiettoria» (Chan, 2015).

La letteratura internazionale citata raccomanda la soluzione strategica sostenibile sopra citata: «Rappresentando circa il 40% del consumo finale di energia, il 36% delle emissioni di CO₂ associate e il 55% del consumo di energia elettrica, gli edifici sono un fattore chiave per raggiungere il primo passo nella riduzione delle emissioni di gas serra (-25%)» (D'Agostino et al., 2022). Ancora: «L'edilizia sostenibile è l'unico modo per garantire l'attuazione dei

principi dello sviluppo sostenibile» (Adamczyk et al., 2017). E ancora: «Il settore dell'edilizia ha un ruolo strategico nella transizione verso un'energia pulita verso uno stock completamente decarbonizzato entro la metà del secolo» (D'Agostino et al., 2022). Inoltre, «il settore dell'edilizia è ad alta intensità energetica e svolge un ruolo di primo piano nel risparmio energetico e nella sostenibilità» (Ruggeri et al., 2020, p.1.r.22-24).

Di conseguenza, la letteratura internazionale raccomanda: «La necessità di una transizione verso l'energia pulita che riduca la dipendenza dai combustibili fossili è diventata più urgente, alla luce della recente situazione geopolitica. I principi chiave sono: dare priorità all'efficienza energetica, migliorare le prestazioni energetiche degli edifici e sviluppare un settore energetico basato in gran parte su fonti rinnovabili» (Aza-Medina et al., 2023). «A livello globale, l'obiettivo concordato per i prossimi decenni è quello di decarbonizzare il settore energetico, rendendo gli edifici più efficienti» (D'Agostino et al., 2022). «All'interno di questo quadro, gli edifici a energia quasi zero nZEB (nearly Zero Energy Building), o edifici verdi, hanno un ruolo strategico nel migliorare l'efficienza energetica e le energie rinnovabili, e sono l'obiettivo obbligatorio per gli edifici» (D'Agostino et al., 2022). E ancora: «Gli edifici nZEB svolgono un ruolo chiave nella strategia che combina l'efficienza energetica con la diffusione delle energie rinnovabili» (D'Agostino et al., 2022).

La letteratura internazionale si concentra sui co-benefici, e tra questi: la qualità degli ambienti esterni e interni, nonché l'efficienza degli edifici e il risparmio energetico: «Gli edifici verdi certificati riducono sostanzialmente il consumo di energia su base per metro quadrato e si concentrano anche sulla qualità dell'ambiente interno. Tuttavia, i co-benefici per la salute attraverso la riduzione dell'energia e la concomitante riduzione dell'inquinamento atmosferico non sono stati esaminati» (Allen et al., 2018).

La letteratura internazionale si concentra sui materiali ecologici, salubri, organici e naturali: «Alcuni dei materiali più comuni utilizzati per la coibentazione termica nel settore delle costruzioni sono il polistirene espanso, le schiume poliuretatiche, la fibra di vetro, la lana di roccia, tra gli altri, che sono ad alta intensità energetica e possono porre alcune preoccupazioni ambientali a causa dell'uso di prodotti derivati dal petrolio o dell'uso di composti chimici nel loro processo di produzione» (D'Agostino et al., 2022).

La letteratura internazionale raccomanda materiali ecologici e salubri per una migliore salute negli edifici: «Vivere in un edificio sostenibile può salvarvi la vita, letteralmente. Secondo gli studi, le persone che risiedono in strutture verdi sperimentano una miriade di benefici per la salute dovuti ai materiali ecologici utilizzati nella costruzione. Ad esempio, gli edifici verdi evitano l'uso di materiali da costruzione che possono contenere composti organici volatili (COV) nocivi o sottoprodotti di plastica che sono noti per rilasciare fumi tossici e cancerogeni nell'atmosfera e questi materiali pericolosi sono collegati a malattie

respiratorie, allergie e altri disturbi di salute e, in casi estremi, un aumento del rischio di cancro» (New School of Architecture & Design).

I materiali ecologici devono anche essere naturali per ridurre l'impronta di carbonio globale nel settore civile. «In questo scenario, il miglioramento delle prestazioni termiche degli edifici, utilizzando materiali naturali a basso impatto ambientale, è uno degli aspetti chiave che può contribuire a ridurre il consumo energetico e l'impronta di carbonio nel settore delle costruzioni» (D'Agostino et al., 2022).

La letteratura internazionale evidenzia il ruolo chiave che le piattaforme BEPSPs svolgono nell'implementazione a livello mondiale della strategia risolutiva degli edifici verdi o nZEB: «Le simulazioni energetiche degli edifici sono un potente strumento di modellazione utilizzato per vari scopi. Tra le applicazioni, ci sono: la definizione del progetto edilizio, la selezione di misure tecnologiche ottimali in termini di costi, la previsione delle prestazioni energetiche degli edifici e la ristrutturazione del patrimonio, la determinazione delle condizioni di comfort e qualità dell'aria interna, la valutazione della certificazione degli edifici e la stima di scenari di risparmio futuri su cui definire specifiche iniziative di policy» (D'Agostino et al., 2022).

La sperimentazione deve essere contestualizzata a partire dai Continenti (Asia; America; Africa; Europa; Oceania), peggiori subcontinenti inquinatori per tonnellate di CO₂ emesse all'anno (Ritchie et al., 2017) (tonnellate all'anno: 01. Cina: 9.838.754.028; 02. Stati Uniti: 5.269.529.513; 03. India: 2.466.765.373; 04. Russia: 1.692.794.839; 05. Giappone: 1.205.061.178; Mondo: 38.003.269.271) Paese, regione e locale. Successive revisioni della letteratura contestualizzata a livello Paese il consumo medio di energia e la sua suddivisione per scopi specifici, e illustrano esempi selezionati di retrofitting forniti dal Settore Scientifico ICAR22.

2.2 Revisione della Letteratura: il contesto nazionale

2.1.1 Consumi energetici totali in Italia, nel 2022

Secondo i dati annuali ENEA (ENEA, 2021), il fabbisogno energetico primario in Italia nel 2021 è di 167 mtep: carbone 6, petrolio 53, gas 62 (subtotale fossile: 121 mtep = 1.407 TWh Tera Wattora, [1 mtep = 11,63 TWh]); fonti energetiche rinnovabili 36,5 mtep; energia elettrica importata 9,5 mtep. Attualmente i combustibili fossili (121 mtep = 1.407 TWh) coprono il 72% del fabbisogno totale. Questo comporta una forte dipendenza energetica dall'estero e quindi un importante impatto sul clima e sull'ambiente dovuto sia a:

- la combustione di combustibili fossili e le relative emissioni di gas a effetto serra;
- e alle perdite nel loro trasporto e distribuzione, circa il 30% del totale prodotto.

2.1.2 Consumo energetico di una famiglia tipo in un appartamento medio in Italia, nel 2022

Secondo i dati annuali del Ministero della Transizione Ecologica (2021) e dell'ENEA (ENEA, 2021), il consumo energetico annuo, in Italia nel 2021, in un appartamento medio di 85 m² (CRESME, 2017; Agenzia delle Entrate, 2021; Banca d'Italia, 2021), di una famiglia media («famiglia tipo») è di circa 1.400 m³ di gas naturale (1.400 m³ x 10,90 kWh/m³ = 15.260 kWh) e 2.700 kWh di energia elettrica per il fabbisogno energetico della propria abitazione, totale kWh = 15.260+2.700=17.960. Il consumo energetico totale medio di una «famiglia tipo» è stimato: 208 kWh/m² anno (ENEA, 2021; Ministero della Transizione Ecologica, 2021).

Dati quasi simili si trovano nel rapporto annuale dell'ARERA del 2021: una famiglia media in Italia consuma circa 1.310 m³ di gas naturale (1.310 m³ x 10,90 kWh/m³=14.279 kWh) e 2.184 kWh di energia elettrica per il fabbisogno energetico della propria abitazione, totale kWh = 14.279+2.184=16.363. Il consumo energetico totale medio di una «famiglia tipo» nel 2021 è stimato: 194 kWh/m² anno (ARERA, 2021).

2.1.3 Ripartizione dei consumi medi energetici nel 2022

Secondo l'ENEA 2021 i consumi nel settore residenziale si suddividono in: riscaldamento 70%; ACS 10%; energia termica 5% per la cottura dei cibi ed energia elettrica 15% (ENEA, 2021).

In tabella sono riportati i kWh/m² anno, nel 2021, di energia consumata per un appartamento medio [«tipo»] in Italia di 85 m² e la loro ripartizione per uso finale nella stima ENEA.

Tabella 1 - Ripartizione del consumo finale di energia primaria per una famiglia media

Purposes (and uses)		Um	Percentage
n.		kWh/m ² y	%
01	Heating	146	70%
02	Lighting	31	15%
03	Domestic Hot Water	21	10%
04	Cooking	10	5%
01-04	TOTAL	208	100%

Fonte: ENEA (2021), *Rapporto annuale sull'efficienza energetica: Analisi e risultati delle policy di efficienza energetica del nostro paese. Available online: <https://www.energiaenergetica.enea.it/component/downloads/?task=download.send&id=554&catid=9&Itemid=101> (accessed on 01 February 2023)*

2.3 Revisione della Letteratura: alcuni casi di studio accademici e professionali

A Torino (Piemonte, Italia), Bottero, Mondini *et alii* (Bottero *et al.*, 2018.), del Politecnico di Torino, in una complessa ricerca che prende in considerazione un rilevante e importante database (circa 15.000 immobili, georeferenziati), hanno stimato che un immobile con più di 30 anni dovrebbe consumare energia, in media, in un anno, da 180 a 200 kWh per mq.

A Torino (Piemonte, Italia), Monetti (Monetti, 2015) ha valutato il consumo energetico totale in kWh/m² anno su un campione di edifici appartenenti a diverse fasce d'età, costruiti con materiali e tecniche costruttive differenti, ottenendo quindi, per ogni singolo edificio, un diverso consumo di energia. Ad esempio, l'unità abitativa costruita nel 1960 dovrebbe consumare, in media, in un anno, circa 286 kWh per mq di energia totale, e 178 kWh per mq solo per il riscaldamento, in uno scenario comune, o convenzionale (no-sostenibile; no-green).

La tabella seguente mostra la stima dei consumi di Monetti (utilizzando: lo strumento EnergyPlus) in kWh/m² anno di energia sia totale e sia di solo riscaldamento, dell'unità del 1960, sia in appartamento comune che in appartamento Green.

Tabella 2 - I consumi energetici nel caso Monetti

n.	Purposes (and uses)	Apartment 73 m ²			
01		EnergyPlus			
02		kWh/m ² y			
03		BAS	Green	Δ	%
04	Total	286	123	-163	-57
05	Heating	178	63	-115	-65

Fonte: Monetti, V. *Metodologia scalabile basata sulla simulazione dinamica per la riqualificazione energetica di edifici esistenti. Tesi di Dottorato, Politecnico di Torino, Dipartimento di Energia, Torino, Ita, 2015*

Il caso studio citato riguarda, tra gli altri, un edificio di quattro piani fuori terra, 24 appartamenti residenziali, di 73 m² ciascuno, con le seguenti trasmittanze nello Scenario Comune: parete esterna 1,15 W/m² K, solaio di copertura 1,65 W/m² K, solaio di base verso seminterrato non condizionato 1,30 W/m² K, elementi trasparenti 4,90 W/m² K. Il sistema di riscaldamento è una caldaia a gas con radiatori.

Il caso studio di Fabbri (Fabbri *et al.*, 2014) riguarda un edificio indipendente, di 117 m², situato a Cesena, nella regione Emilia Romagna, Italia. La costruzione viene simulata in quattro anni diversi: 1950, 1970, 1985 e 1995. Per ognuno di questi casi di studio sono stati valutati 4 scenari di miglioramento dell'efficienza energetica. La geometria dell'edificio rimane invariata, ma vengono modificati, sperimentati e testati diversi parametri termofisici.

La tabella seguente riporta le stime di Fabbri nello scena-

rio comune, così come nello scenario alternativo sostenibile-verde):

- il consumo totale di energia in kWh/m² anno (220) e quello di solo riscaldamento (196) di un'unità abitativa del 1970 (il 75% degli italiani vive in vecchi edifici);
- la trasmittanza, in W/m² K, prima e dopo la coibentazione delle pareti.

Tabella 3 - I consumi energetici nei casi Fabbri, Tronchin e Tarabusi

n.	Purposes (and uses)	Apartment 117 m ²			
		kWh/m ² y			
02		BAS	Green	Δ	%
03	Total	220	112	-108	-49
04	Heating	196	91	-105	-54

Fonte: Fabbri, K.; Tronchin, L.; Tarabusi, V. *Riqualificazione energetica e priorità di valutazione economica applicate ad un caso studio italiano*. Energy Procedia 2014, Volume 45, pp. 379-384, doi:10.1016/j.egypro.2014.01.041

Tabella 4 - La Trasmittanza U prima e dopo l'isolamento delle pareti

n.	Transmittance U	Apartment 117 m ²	
		kWh/m ² y	
02	U before	1,00	
03	U after	0,44	
04	%	-56	

Fonte: Fabbri, K.; Tronchin, L.; Tarabusi, V. *Riqualificazione energetica e priorità di valutazione economica applicate ad un caso studio italiano*. Energy Procedia 2014, Volume 45, pp. 379-384, doi:10.1016/j.egypro.2014.01.041

Dal punto di vista dell'attività professionale, il caso di studio di Intorbida (Intorbida, 2013) riguarda una villetta a schiera di 80 mq che comprende un'importante installazione di un impianto fotovoltaico (FV) e la riqualificazione energetica dei componenti di involucro, opachi e trasparenti.

Tabella 5 - Consumo energetico prima e dopo la riqualificazione energetica nel caso di studio Intorbida

n.	Purposes (and uses)	Apartment 73 m ²			
		kWh/m ² y			
02		BAS	Green	Δ	%
03	Total	203	49	-154	-76
04	Heating	145	45	-100	-69
05	Domestic Hot Water (DHW)	58	4	-54	-93
06	kgCO ₂ /m ² y	47	14	-33	-70

Fonte: Intorbida, S. (2013), *La riqualificazione energetica integrata ed economicamente sostenibile. Strategie per la valorizzazione del patrimonio edilizio pubblico e privato mediante la riqualificazione energetica architettonicamente integrata e la relativa finanziabilità ad iso risorse*. Legislazione Tecnica, ISBN: 978-88-6219-160-9

La tabella evidenzia il consumo totale di energia termica in kWh/m² anno e le emissioni di CO₂ in kgCO₂/m² anno, prima e dopo la riqualificazione energetica.

2.4 Revisione della Letteratura sulla Valutazione Economica

Il panorama della letteratura scientifica, riguardante la valutazione economica della Strategia "Green Building", fornisce diversi importanti contributi, come di seguito riportato, sia a livello internazionale che nazionale.

2.4.1 Livello internazionale

A livello internazionale, un precursore della valutazione economica e dell'analisi costi-benefici della strategia sostenibile è Kats. È, quindi, paradigmatico riportare parte della sua letteratura originaria (2003, 2006, 2010, 2018).

2.4.1.1 Kats 2003

Kats et al 2003 è il primo ad aggregare completamente i costi e i benefici degli edifici verdi, in particolare, la maggior parte di questo rapporto esamina e analizza una grande quantità di dati esistenti sui costi e sui benefici finanziari della strategia sostenibile.

Questa ricerca dimostra che l'edilizia sostenibile è un solido investimento finanziario, che generalmente produce un risparmio economico di oltre dieci volte l'investimento iniziale richiesto per progettare e costruire un edificio verde.

I vantaggi della bioedilizia comprendono risparmi: sui costi derivanti dalla riduzione del consumo energetico; minori costi operativi e di manutenzione; miglioramento della produttività e della salute degli occupanti; ecc. ecc.

Il risparmio energetico annuo rappresenta il primo rimborso dell'investimento iniziale più elevato.

La ricerca rileva che: «I benefici finanziari di una riduzione del consumo del 30% a un prezzo dell'elettricità di \$ 0,11 / kWh sono di circa \$ 0,44 / ft² / anno, con un valore attuale a 20 anni di \$ 5,48 / ft². Il valore aggiuntivo della riduzione della domanda di picco da parte degli edifici verdi è stimato a 0,025 \$/ft²/anno, con un valore attuale a 20 anni di 0,31 \$/ft². Insieme, il valore attuale totale a 20 anni dei benefici energetici finanziari di un tipico edificio verde è di \$ 5,79 / ft². Pertanto, sulla base del solo risparmio energetico, investire in edifici verdi sembra essere conveniente». (Kats al., 2003).

2.4.1.2 Kats 2006

Kats et al 2006 esplora i costi e i benefici derivanti da 30 scuole verdi costruite in dieci stati, tra il 2001 e il 2006. Questo campione di scuole verdi, con caratteristiche tipi-

che dell'edilizia sostenibile, come pareti e tetti coibentati, sistemi di riscaldamento e raffrescamento efficienti, è stato paragonato a scuole convenzionali, ovvero non sostenibili.

La ricerca dimostra che il costo di costruzione delle scuole ecologiche in media è il 2% in più rispetto al costo di costruzione di una scuola convenzionale, circa \$ 3 per piede quadrato (\$ 3 / ft²), tuttavia la costruzione sostenibile produce diversi vantaggi finanziari che superano il costo aggiuntivo iniziale della costruzione: «il risparmio finanziario è di circa \$ 70 per ft², 20 volte più alto del differenziale del costo di costruzione della scuola ecologica». (Kats et al., 2006).

2.4.1.3 Kats 2010

Kats et al 2010 analizza i dati sui benefici e i costi finanziari degli edifici verdi o sostenibili, rispetto alle costruzioni convenzionali, utilizzando un campione di 170 edifici verdi situati in 33 stati e 8 paesi.

Gli autori hanno calcolato che il valore attuale netto (VAN) in 20 anni di risparmio energetico annuo, in un tipico edificio verde, varia da \$ 4 per piede quadrato a \$ 16 per piede quadrato, a seconda del tipo di edificio e delle sue caratteristiche costruttive e di sistema.

Dalla ricerca emerge che «rispetto a un edificio comune, gli edifici verdi, nel set di dati, hanno riportato un risparmio medio compreso tra il 23% e il 50%» (Kats et al., 2010, p. 16).

2.4.1.4 Kats 2018

Kats et al 2018 analizza i costi e i benefici finanziari, in tre città, El Paso, Philadelphia e Washington, D.C., che adottano soluzioni di superfici intelligenti tra cui, tra le tante, tetti freddi (tetto ad alta riflettanza solare), tetti verdi (tetto coperto dalla vegetazione) e solare fotovoltaico (FV).

La ricerca ha l'obiettivo di dimostrare la fattibilità economica della strategia verde a livello di città e rileva che, l'adozione di queste soluzioni sostenibili nelle città, oltre a migliorare la salute, la vivibilità e rallentare il riscaldamento globale, produce importanti risparmi finanziari per miliardi di dollari.

Il VAN, calcolato a livello di città, adottando soluzioni sostenibili o verdi varia da 538 milioni di dollari per El Paso a 1,8 miliardi di dollari per Washington, D.C. e 3,6 miliardi di dollari per Filadelfia. «Se includiamo le perdite stimate evitate dal turismo estivo, il VAN sale a \$ 4,9 miliardi e per Filadelfia sale a \$ 8,4 miliardi». (Kats et al., 2018).

Gli autori dimostrano che l'applicazione di questa strategia verde o sostenibile, a livello di città, produce benefici finanziari che superano i costi (Kats et al., 2018). La ricerca rivela la necessità di ulteriori approfondimenti e analisi.

Ulteriori ricerche contribuiranno a perfezionare le stime dei costi e dei benefici e probabilmente porteranno a un aumento dei calcoli dei benefici finanziari per la bioedilizia.

2.4.1.5 Hopkins 2016

Dopo due decenni dalla ricerca di Kats, sulla valutazione economica della strategia sostenibile, Hopkins ha tracciato un bilancio della ricerca sul campo, concludendo come segue: «C'è una mancanza di studi che affrontino i costi iniziali e del ciclo di vita dell'edilizia verde». La sua raccomandazione principale è quella di eseguire un'analisi dei costi per valutare se la Strategia "Green Building" ha senso dal punto di vista finanziario e dal punto di vista del ciclo di vita: "Non è stato riportato alcuno studio completo che evidenzia la convenienza economica della bioedilizia" (Hopkins, 2016).

2.4.2 Livello nazionale

A livello nazionale, tra i tanti, un caso di studio applicativo (Nesticò et al., 2015) fornisce risposte alle domande riguardanti gli esiti economici ed ecologici della strategia verde negli edifici storici.

Si propone una metodologia che individua una combinazione di interventi di conservazione architettonica tradizionale con sistemi e reti tecnologiche innovative. L'obiettivo è di verificare l'economicità degli interventi proposti attraverso l'applicazione di un protocollo che mira a selezionare interventi al fine di migliorare il comportamento energetico di un'antica struttura religiosa (2.648 m²) in provincia di Salerno (Campania, Italia), trasformata in museo.

I risultati dell'analisi costi-benefici riflettono gli effetti positivi connessi ai benefici finanziari in termini di efficienza energetica, ed ecologici in termini di riduzione delle emissioni di CO₂, quantificata monetariamente ipotizzando un Costo Sociale Del Carbonio (o Social Cost of Carbon, SCoC) di: 60-104 \$/ton.

Dall'analisi effettuata emerge come le soluzioni impiantistiche non raggiungano la convenienza economica per l'elevato costo iniziale degli interventi, causa la presenza di vincoli. Sebbene il VAN sia prossimo allo zero «L'iniziativa va comunque presa in considerazione quando si valutano gli effetti sociali e culturali positivi. Al contrario, l'investimento è estremamente conveniente se beneficia dell'intero importo stanziato FESR di € 1.043.000. Se si considera anche il miglioramento della qualità ambientale causato dalla diminuzione delle emissioni di anidride carbonica risultanti nelle soluzioni di cui sopra, il tasso sale al 15,07% di IRR» (Nesticò et al., 2015).

A livello nazionale, tra i tanti, un secondo caso studio applicativo (Trovato et al., 2020) fornisce importanti risposte sul tema affrontato, e riguarda la valutazione

delle prestazioni termiche e dell'impronta di carbonio di tre comuni interventi di retrofit in un edificio pubblico (473 m²) situato a Modica (regione Sicilia, Italia), con l'obiettivo di fornire un approccio alla progettazione di Edifici Sostenibili.

Gli autori sottolineano l'importanza, nella strategia "Green Buildings", di considerare non solo l'efficienza energetica ma anche l'impronta di carbonio nell'analisi di un retrofit di un edificio. L'analisi ha rilevato una riduzione del 58% della domanda di riscaldamento, una riduzione del 34% della domanda di raffreddamento e una riduzione del 54% delle emissioni di CO₂.

La seconda fase della ricerca si è concentrata sull'analisi economico-monetaria dell'intervento di retrofit, che ha registrato un'irrelevanza economica della coibentazione, a causa delle sue basse prestazioni termiche in una zona climatica così calda (Trovato et al., 2020).

A livello nazionale, tra i tanti, un terzo caso di studio (Gabrielli et al., 2017) evidenzia l'importanza dell'analisi finanziaria nella strategia "Green Building". Il caso, riguarda 36 interventi di riqualificazione energetica su un campione di 24 edifici pubblici, ubicati in 4 diverse regioni d'Italia (Campania, Puglia, Calabria e Sicilia). Questa ricerca effettua un'analisi economico-monetaria con l'obiettivo di proporre una metodologia per la selezione delle azioni di riqualificazione energetica e valutarne la redditività.

La proposta prevede un'analisi dei flussi di cassa e un'analisi dei rischi e delle incertezze attraverso il metodo Monte Carlo. I risultati dello studio mostrano che: una classe di azioni non raggiunge mai la redditività finanziaria; alcuni titoli hanno un VAN positivo ma un Pay Back Period (PBP) piuttosto lungo (oltre 15 anni) solo con gli opportuni incentivi; infine, una classe di azioni ha VAN positivo e un breve periodo di rimborso (inferiore a 16 anni) (Gabrielli et al., 2017).

La breve revisione della letteratura incoraggia a verificare se, nella costruzione dell'Edificio Prototipo del caso di studio proposto, la somma dell'importo monetario dell'inquinamento evitato e dell'importo monetario dei kWh risparmiati, può recuperare il: «il costo aggiuntivo iniziale del lavoro di passivazione» nello Scenario Sostenibile rispetto allo Scenario Comune.

3. MATERIALI E METODI

3.1 L'energia non Fossile più Verde, più Economica e Migliore per gli Edifici

Le principali soluzioni al cambiamento climatico sono una combinazione di più strategie risolutive, tra cui la vincente combinazione tra la bioedilizia e l'integrazione con la produzione di energie verdi (o rinnovabili): non fossili, senza combustibili. Infatti, gli edifici verdi nZEB, svolgono un ruolo chiave nel superare il cambiamento climatico» (Crawley et al., 2022). Le ele-

vate prestazioni termiche degli edifici verdi sono possibili grazie a materiali da costruzione coibenti, meglio se organici o naturali, quindi totalmente rinnovabili e completamente reintegrabili. La produzione di energia rinnovabile (o verde) per gli edifici non avviene solo nei grandi impianti concentrati (idroelettrico; onde marine; geotermico; concentrazione solare nei deserti; parchi eolici sulle creste delle alte montagne; impianti giganti di produzione di idrogeno verde; ecc.), ma preferibilmente decentralizzati a livello nazionale con adattamento domestico di: impianti solari integrati; turbine eoliche artistiche; sistemi geotermici invisibili; strutture domestiche per generatori di idrogeno nanotecnologici; etc.

Esiste però un'energia molto speciale per gli edifici e l'architettura che è più verde ed economica della: solare domestica; eolica domestica; geotermica domestica; idrogeno domestica; idroelettrica centralizzata; onde del mare centralizzate. È l'energia non consumata negli edifici, cioè l'efficienza energetica verde negli edifici, cioè la bioedilizia, e il conseguente risparmio energetico. L'obiettivo a breve termine è quello di ridurre almeno del 40% (entro il 2030 come previsto dalla Direttiva UE 2018/844) il consumo energetico degli edifici. Rispetto agli edifici comuni, senza lavorazioni energetiche, gli edifici a consumo energetico quasi zero (nZEB) più efficienti consentiranno alle energie rinnovabili di coprire meglio le esigenze climatiche degli edifici. Ci saranno anche benefici nel ridurre i picchi di domanda invernale ed estiva. Quando le risorse solari sono limitate in inverno, una migliore «coibentazione» (isolamento) degli edifici nZEB ottimizza l'autoconsumo fotovoltaico (D'Agostino et al., 2022).

Un elemento chiave per ottenere l'efficienza energetica degli edifici è evitare le dispersioni termiche attraverso, tra l'altro, la passivazione o «coibentazione» o il rivestimento o l'isolamento o la copertura o la pannelatura degli edifici, in particolare quelli esistenti, attraverso la riqualificazione ecologica (Krier, 1984). Il cappotto termico o il rivestimento o le tavole o i pannelli possono essere a base di petrolio, e in questo modo la dipendenza e la schiavitù dai fossili aumenteranno negativamente. Il cappotto o il rivestimento o le tavole o i pannelli possono essere a base di legno naturale e, in questo caso, gli alberi dovranno essere abbattuti.

Esiste una soluzione più ecologica che custodisce un patrimonio naturale unico e sconosciuto in gran parte sprecato e inutilizzato: la corteccia ignifuga di *Quercus suber* Linnaeus 1775, o *suber*, o sughero. Il sughero viene prodotto dalla corteccia e raccolto dall'operazione di decorticazione quindi senza abbattere alcun albero, ma rigenerandolo. Questa risorsa unica può essere una soluzione originale, molte volte sperimentata e testata in passato, e ora da generalizzare. Il *suber* o sughero, un materiale naturale e sostenibile unico nel suo genere, viene adottato per passivare gli edifici tramite la posa in opera di pannelli in sughero per la coibenta-

zione realizzati con il sughero raccolto da foreste originarie multi benefici e multifunzionali (La Riccia et al., 2023).



Figura 1 - Processo di produzione del pannello di sughero: a) foreste, origine naturale del ciclo del sughero; b) decortica del sughero; (C-D) Produzione di pannelli in sughero naturale organico ecologico; e) Sughero: corteccia grezza e pannelli per edifici verdi; f) Tavole/pannelli di sughero ecologico rendono l'edificio: Verde e sano. Fonte: Autori.

Questi pannelli di sughero, a bassa conducibilità termica, 0,043 W/mK, vengono applicati all'esterno dell'edificio come un cappotto, e sono da ritenersi la soluzione più efficiente sia in estate che in inverno (Cline, 2020). Il rivestimento o i pannelli riducono sia il consumo di energia fossile che le conseguenti emissioni di CO₂ dell'edificio (Barreca et al., 2015; Barreca et al., 2016; Barreca et al., 2017; Barreca et al., 2019). Questa strategia viene adottata sia per gli edifici esistenti che per quelli di nuova costruzione, perché consente l'isolamento e la ventilazione e quindi un ottimo stato di comfort abitativo e una migliore salubrità degli ambienti interni.

Quando il rivestimento è fatto di sughero c'è un ulteriore vantaggio ecologico aggiuntivo: infatti, crescendo di nuovo sul tronco in 8-10 anni, la nuova corteccia di sughero sequestra e metabolizza e distrugge una grande quantità di CO₂ nell'atmosfera. E questo è un enorme vantaggio ecologico aggiuntivo dell'adozione del sughero (Spampinato et al., 2019; Barrile et al., 2021; Spampinato et al., 2021). I benefici della Passivazione Ecologica Edilizia sono immediati (Manganelli et al.,

2019; Morano et al., 2021; Tajani et al., 2022; Nesticò et al., 2015; Fregonara et al., 2013; Fregonara et al., 2017; Marino et al., 2019; Marino et al., 2022) e la loro realizzazione richiede tempi molto brevi, rispetto agli anni e ai grandi investimenti necessari per realizzare impianti giganti (solare; eolico; geo; idroelettrico; onde; idrogeno) che producono energia rinnovabile. Le prestazioni dei pannelli in sughero dovrebbero e possono essere testate simulando, con il supporto di piattaforme BEPSPs, la loro adozione in un Edificio Prototipo verde.

3.2 Edificio Prototipo

Il Prototipo Sostenibile (definito solo «Prototipo», in seguito) è un edificio estremamente semplificato, di piccole dimensioni, 25 m², con sei pareti disperdenti e caratteristiche architettoniche convenzionali o ordinarie (tipiche della zona): una struttura in cemento armato, il consueto tamponamento in mattoni comuni, intonaco comune e finestre comuni (120x100 mm) caratterizzate (nello Scenario Comune) da un vetro singolo e da un telaio in alluminio privo di taglio termico.

Il Prototipo si configura come un vero e proprio edificio su cui testare e sperimentare negli anni soluzioni tecnologiche innovative nel settore civile, in due scenari alternativi:

- Scenario Comune, senza lavorazioni energetiche e con materiali comuni;
- Scenario Sostenibile, in cui vi è la coibentazione delle sei pareti disperdenti attraverso pannelli a bassa conducibilità termica, 0,043 W/mK e la sostituzione dei serramenti esistenti, con la stessa geometria, 120x100mm, caratterizzati da un telaio in PVC a doppia camera e triplo vetro con argon (trasmissanza $U_w = 1,20 \text{ w/m}^2 \text{ k}$).

Nello Scenario Sostenibile, la coibentazione si basa su pannelli di sughero naturale bio-organico ricavati da foreste locali di querce da sughero. Questi pannelli hanno uno spessore di 6 cm o 10 cm e sono posti esternamente (come un cappotto) all'Edificio Prototipo, sia per le pareti perimetrali che per il solaio di copertura, mentre sono collocati internamente nel solaio contro terra.



Figura 2 - Costruzione del prototipo. Scenario comune. Fonte: Autori.



Figura 3 - Costruzione del prototipo. Scenario sostenibile. Fonte: Autori.

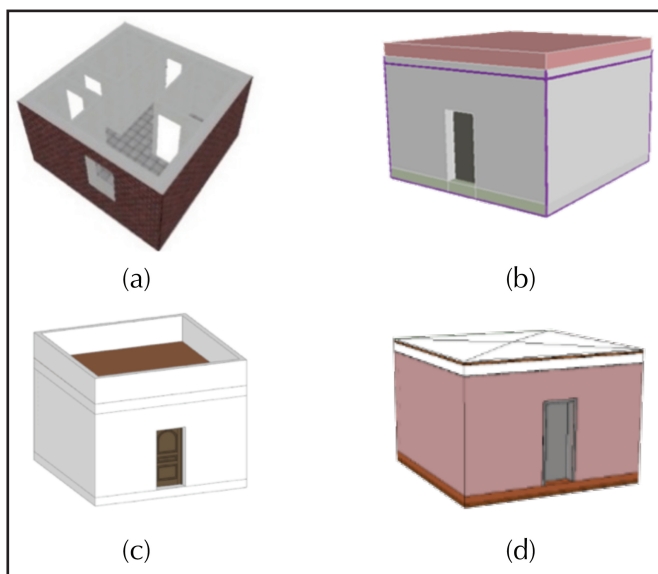


Figura 4 - Output del disegno dell'Edificio Prototipo dal BEPSP adottato: (a) strumento EnergyPlus; (b) strumento Termolog; (c) Strumento Termus Bim; (d) Strumento Blumatica Bim Energy.

3.3 Programmi di Simulazione delle Prestazioni Energetiche degli Edifici (BEPSPs)

Le piattaforme BEPSPs vengono utilizzate per stimare la quantità di energia consumata da un edificio in un anno. L'edificio è un sistema molto complesso e il modo migliore per valutarne e testarne le prestazioni è quello di simularlo in condizioni energetiche reali utilizzando, quindi, i software di simulazione energetica dell'edificio (Building Energy Simulation, BES) e simulazione delle prestazioni degli edifici (Building Performance Simulation, BPS). Questi ultimi sono strumenti molto potenti ma allo stesso tempo molto labili, possono essere affetti da diverse incertezze che causano carenze inaspettate nell'accuratezza degli output, aumentando il gap tra consumo energetico simulato e operativo. Tra le incertezze, nel panorama della letteratura scientifica specializzata internazionale, si sottolinea l'utilizzo di set di dati scarsamente rappresentativi che possono portare a conseguenze inaspettate, come la progettazione di un edificio in cui i carichi energetici e le condizioni di comfort non sono adeguatamente stimati, l'aumento dei consumi energetici, l'aggiunta di costi aggiuntivi, minore efficienza e dimensioni inadeguate degli impianti di riscaldamento e raffrescamento (D'Agostino et al., 2022).

Esistono diversi strumenti che permettono di simulare e gestire il comportamento climatico di un edificio, in estate e in inverno, ognuno di questi software ha caratteristiche e applicazioni specifiche, e la loro caratteristica comune è che generalmente consentono la valutazione dei consumi energetici (termici ed elettrici) necessari per ogni edificio, in kWh/anno e in kWh/m² anno, per: riscaldamento, ACS, illuminazione, cucina, aria condizionata estiva, ecc. Questi soft-

ware valutano anche l'impatto ambientale valutando le emissioni di CO₂ degli edifici. Tutto ciò contribuisce ad un'analisi costi-benefici di eventuali lavori di passivazione energetica.

Esiste un'ampia gamma di strumenti di simulazione energetica, con la possibilità di calcolare fabbisogni energetici sempre più complessi, con più variabili e con un approccio più rigoroso. Ognuno di questi strumenti di simulazione offre capacità uniche, con diversi approcci di modellazione o funzionalità specializzate, che collettivamente contribuiscono a un'analisi più completa dei risultati (Rallapalli, 2010; Sousa, 2012).

Nella presente ricerca, per valutare le prestazioni energetiche dell'Edificio Prototipo, nello Scenario Comune e nello Scenario Sostenibile, vengono adottati, applicati e confrontati sinotticamente cinque diversi software per dare maggiore robustezza e affidabilità ai risultati: Energy Plus® (Versione 8.9) insieme a Design Builder (Versione 6.1.0.006), il più alto standard internazionale; Termolog Academy (Versione 13), alias e clone di Energy Plus con regolamentazione italiana; Termus Bim Educational (Versione 51.00u) e Blumatica Bim ArchIt (Versione 1.5.0.22), i più apprezzati da ingegneri, architetti e geometri italiani; Docet v.3.19.10.51, Strumento governativo. Tutti gli strumenti utilizzati affrontano due questioni come obiettivi: in primo luogo, massimizzare l'efficienza energetica e, in secondo luogo, l'approvvigionamento energetico necessario con apparecchiature e impianti rinnovabili. L'evoluzione della presente ricerca, rispetto a quella precedente analoga degli stessi Autori, è l'introduzione di nuovi strumenti, come la nuova modellazione energetica BIM che consente di ottenere risultati molto più completi, dettagliati e precisi, aggiornando e rivedendo i risultati parziali e i risultati precedenti. Il livello di precisione dei nuovi strumenti BIM è elevato e questi riescono a tenere sotto controllo le numerose variabili presenti in un sistema edificio-impianto attraverso l'implementazione del cosiddetto Digital Twin e attraverso il modello energetico dell'edificio (Building Energy Model, BEM).

3.3.1 Energy Plus (Versione 8.9) insieme con Design Builder (Versione 6.1.0.006)

Energy plus è uno degli strumenti di simulazione energetica più conosciuti, permette l'analisi dell'energia in tutto l'edificio e del carico termico. È lo strumento più completo tra gli altri BEPSPs utilizzati ed è l'unico strumento che ha permesso la simulazione di modelli per il riscaldamento, il raffrescamento, l'illuminazione, la cottura, la ventilazione, altri flussi energetici e l'uso dell'ACS (Rallapalli, 2010; Sousa, 2012).

Il motore Energy Plus è un motore di simulazione energetica estremamente potente e Design Builder è l'interfaccia grafica. Energy Plus è strettamente integrato all'interno di questo modulo che fornisce una simulazione termica dinamica avanzata a passi temporali sub-orari (Design Builder). Il software di analisi del comfort abitativo e lo studio dettagliato dell'involucro permette di sviluppare progetti di alto

livello, massimizzando tutti gli aspetti bioclimatici e impiantistici. Con Design Builder è possibile eseguire studi accurati delle masse termiche e dei flussi di ventilazione naturale in funzione delle condizioni atmosferiche esterne, il tutto sotto il controllo di programmi operativi dinamici.

Il modulo di riscaldamento, ventilazione e condizionamento dell'aria, invece, simula nel dettaglio il comportamento di tutte le apparecchiature dell'impianto e completa il modello di calcolo. Energy Plus è un programma basato su console che legge l'input e scrive l'output in file di testo. Viene fornito con una serie di utilità tra cui IDF-Editor per creare file di input utilizzando una semplice interfaccia simile a un foglio di calcolo, EP-Launch per la gestione di file di input e output e l'esecuzione di simulazioni batch e EP-Compare per confrontare graficamente i risultati di due o più simulazioni (Crawley et al., 2001). È l'unico software che ha permesso una completa ripartizione dei consumi, dell'energia termica ed elettrica.

3.3.2 Termus Bim Educational (Versione 51.00u)

Termus Bim è uno dei due strumenti più apprezzati da ingegneri, architetti e geometri italiani per la sua semplicità e versatilità, con un'impostazione user-friendly. È l'unico strumento tra gli altri che ha permesso la distribuzione delle emissioni di CO₂ per i diversi usi finali. Secondo la letteratura specifica, Termus è stato il primo software per la Legge 10 del 9 gennaio 1991, «Piano Nazionale dell'Energia», con input di oggetti, a diventare un vero e proprio BIM, specializzato nella modellazione energetica degli edifici. Aiuta a disegnare in modo rapido e preciso il modello energetico dell'edificio in pianta o in 3D, con oggetti come pareti, porte, finestre, ecc., che contengono all'interno tutte le proprietà energetiche (Software Acca).

Termus è in grado di riconoscere automaticamente gli oggetti del modello BIM trasformandoli in oggetti pronti per essere accompagnati solo da informazioni energetiche, senza la necessità di ricostruirne le caratteristiche geometriche. Il modello energetico geolocalizzato BIM consente di identificare e calcolare automaticamente, dati climatici, orientamenti, ombreggiamenti. Una procedura guidata con diagnostica permette di comporre gli impianti della centrale termica in modo dettagliato.

Il modulo di disegno BIM di questo software è stato lo strumento più dettagliato e preciso tra quelli utilizzati, quello che più si è avvicinato alla realtà nella costruzione grafica del Prototipo e questo ha permesso un calcolo più affidabile, anche grazie alla possibilità di poter calcolare manualmente e dettagliatamente la presenza di ponti termici, e quindi di ulteriori dispersioni di calore, con uno specifico strumento integrato: "Atlante PT".

3.3.3 Blumatica Bim ArchIT Trial (Versione 1.5.0.22)

Blumatica Bim Energy è il secondo strumento più diffuso tra gli ingegneri, gli architetti e i geometri italiani. È un software per il calcolo energetico in ottica BIM (Blumatica). L'integra-

zione di Blumatica Bim ArchIT e Blumatica Bim Energy consente di creare il modello architettonico importando e tracciando una planimetria DXF o DWG, di assegnare le caratteristiche termofisiche alle entità (pareti, solai, finestre, porte, ecc.), di calcolare automaticamente ombreggiature, ponti termici, contorni dei componenti, proprietà dei componenti (altezze, superfici, volumi, ecc.), di definire rapidamente qualsiasi tipo di impianto e di effettuare calcoli e migliorie energetiche. Blumatica Energy, a differenza di Termus Bim, non consente di parzializzare le emissioni di CO₂ per i diversi usi o scopi finali.

3.3.4 DOCET v.3.19.10.51

DOCET è uno strumento governativo fornito gratuitamente dall'ENEA. Si tratta di uno strumento di simulazione per la certificazione energetica di edifici residenziali esistenti. Il software è aggiornato secondo la metodologia di calcolo semplificata, riportata nelle norme tecniche UNI TS 11300 ed è applicabile solo a edifici o unità residenziali esistenti, con superficie utile inferiore o uguale a 200 m² (ENEA).

Lo strumento si caratterizza per l'elevata semplificazione dei dati di input e la riproducibilità delle analisi, senza rinunciare all'accuratezza del risultato. Questo permette di ridurre i tempi per l'elaborazione del certificato ma non permette di analizzare con precisione strutture e impianti complessi.

Questo strumento è stato preso in considerazione e inserito, tra gli altri, perché attualmente è ampiamente utilizzato da ingegneri, architetti, ecc., per la sua estrema semplicità e velocità nel raggiungimento dei risultati e per questo stesso motivo il programma presenta anche molte limitazioni. Uno dei maggiori limiti di questo software è la mancanza di un modulo di disegno, estremamente importante nel calcolo energetico, che permetta anche di definire graficamente l'edificio in esame. Altri limiti riguardano la non possibilità di specificare in modo più dettagliato e manuale alcuni parametri importanti, relativi sia alla sezione dell'involucro che alla sezione dell'impianto. Nonostante queste evidenti carenze, effettuando preventivamente calcoli manuali, puntuali e precisi, riguardanti la geometria dell'edificio e le caratteristiche termofisiche dell'involucro disperdente, da inserire nella piattaforma sotto forma di input, il software Docet è in grado di fornire, sorprendentemente, un risultato affidabile e molto simile alla realtà.

Tra tutti gli strumenti testati nella simulazione dell'Edificio Prototipo, Termolog è risultato essere il più affidabile, il più completo, lo strumento che racchiude tutte le migliori caratteristiche riscontrabili negli altri.

3.3.5 Termolog v13 (ITA)

Termolog è l'alias/clonazione italiana di EnergyPlus con regolamentazione italiana. Termolog è il software BIM semplice e potente per progettare edifici efficienti, ridurre i

consumi e usufruire dei bonus fiscali (Logical Soft). È il software semplice per i casi comuni e potente per i casi più complessi. Tra i software termotecnici per il calcolo dinamico, Termolog di Logical Soft (totalmente made in Italy e sviluppato attraverso un progetto di ricerca con il Politecnico di Milano), implementando la nuova EN ISO 52016, permette il calcolo delle dispersioni termiche, del fabbisogno e dei consumi energetici degli edifici. Grazie al calcolo dinamico, in pochi passaggi vengono eseguite diagnosi accurate e progetti realistici che tengono conto dei consumi reali dell'edificio e migliorano significativamente il comfort riducendo i consumi (Bim Portale). «È l'unico strumento tra gli altri BEPSPs che fornisce un calcolo orario dinamico determinando la reale risposta dell'edificio al clima e alle condizioni interne di utilizzo secondo la procedura riportata nella norma UNI EN ISO 52016:2018» (Baglivo et al., 2022).

Questo programma più completo è destinato a tutti i tipi di edifici residenziali: dalle case unifamiliari ai condomini, prefabbricati o costruzioni in loco. È uno strumento che contiene diverse metriche di budget, tra cui il consumo totale di energia, le emissioni di CO₂ e il risparmio sui costi, ed è l'unico software di calcolo energetico con un sistema esperto che aiuta a superare i controlli di legge 10.

L'interfaccia del software è strutturata per concentrarsi sulla modellazione geometrica e sull'analisi energetica. Termolog è dotata di numerose procedure guidate per semplificare le fasi di lavoro. Con il Plant Wizard è possibile introdurre facilmente anche sistemi complessi con sistemi di generazione ibridi o impianti con più generatori.

Il Thermal Bridge Wizard identifica e inserisce la discontinuità dovuta alla presenza di ponti termici sulle strutture disperdenti del modello energetico. Un'altra procedura guidata semplifica l'inserimento di tutte le dispersioni da file XLS, importando direttamente l'edificio e le zone termiche. È il software per l'analisi e la rendicontazione della sostenibilità.

Grazie al suo approccio innovativo, è possibile simulare e confrontare più scenari progettuali nelle fasi preliminari del progetto. Durante lo studio di fattibilità è possibile determinare i consumi che si vogliono ottenere effettuando una rapida analisi preliminare dell'impatto dell'edificio in base alle soluzioni tecnologiche scelte.

Con Termolog è possibile riqualificare e progettare edifici ad alte prestazioni energetiche secondo gli standard degli edifici nZEB e i criteri ambientali minimi (CAM) (Bim Portale).

4. CASO DI STUDIO. RISULTATI DELLE PRESTAZIONI ENERGETICHE DELL'EDIFICIO PROTOTIPO

La valutazione del comportamento climatico e delle prestazioni energetiche dell'Edificio Prototipo (nella Città di Reggio, Calabria, regione Calabria, in Italia) è stata effet-

tuata attraverso cinque diversi BEPSPs analizzati nei paragrafi precedenti:

- Energy Plus® (Versione 8.9) insieme a Design Builder (Versione 6.1.0.006), versione di prova;
- Termolog (versione 13); accademia;
- Termus Bim (versione 51.00u); educativo;
- Blumatica Bim ArchIt (versione 1.5.0.22); prova;
- e DOCET v.3.19.10.51; gratuito.

Il software di simulazione energetica fornisce quanto segue: Indice di prestazione (P) energetica (E) globale (gI) (EPgl) per i due diversi scenari e la relativa differenza in valore assoluto e in percentuale. Pertanto, il comportamento, le prestazioni e il risparmio sono espressi in termini di: kWh/m² anno per i consumi energetici e in kg CO₂/m² anno per le emissioni di CO₂. Per il breve periodo 2025, le strategie planetarie (UNSCAP, 2019), per superare il cambiamento climatico e il riscaldamento globale, fissano l'obiettivo preliminare del -25% di consumo energetico e del -25% di emissioni di gas serra (maggiore efficienza) nel settore civile attraverso l'inverdimento e la coibentazione degli edifici con materiali e prodotti basati sulla natura, ed entrambi del 40% entro il 2030 come previsto dalla Direttiva UE 2018/844.

4.1.1 Risultati del risparmio energetico

I risultati delle valutazioni climatiche ed energetiche, simulate a Reggio Calabria, regione Calabria, Italia, Zona Climatica B (con 105 giorni di riscaldamento, dal 08 dicembre al 23 marzo, 772 gradi giorno (GG) e una temperatura media annua di 19,15 °C), sono i seguenti:

utilizzando semplicemente un pannello di sei cm di spessore, il risparmio energetico per il riscaldamento è di circa il 71%, ben al di sopra dell'obiettivo fissato del 25% entro il 2025. E del 40% entro il 2030 come previsto dalla Direttiva UE 2018/844. Il risparmio energetico globale degli edifici è superiore al 55%, ben al di sopra dell'obiettivo fissato del 25% entro il 2025 e del 40% (Direttiva UE 2018/844).

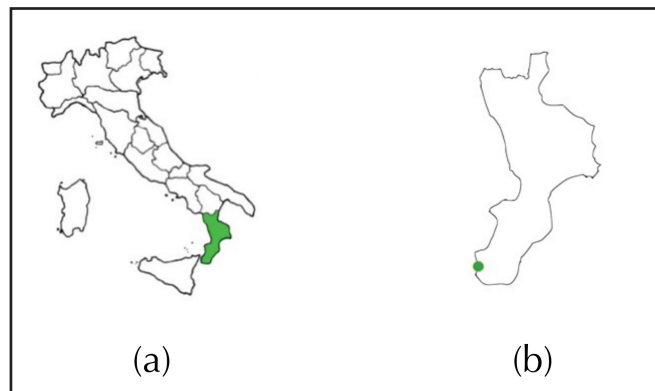


Figura 5 - a) l'Italia e la regione Calabria; (b) Comune della regione Calabria, Italia. Reggio Calabria, sede delle valutazioni climatiche ed energetiche. Fonte: Autori.

Le tabelle che seguono mostrano il confronto, tra i diversi strumenti, del consumo di energia nei due scenari alternativi, espresso in kWh/m² anno.

Tabella 6 - Consumo di energia nello Scenario Comune

BEPSPs	Purposes (and uses) in kWh/m ² y				
	Total	Heating	DHW	Lighting	Cooking
BAS					
EnergyPlus	332	229	70	23	10
Termolog	296	230	66	na	na
Termus	300	235	65	na	na
Blumatica	298	233	65	na	na
Docet	297	232	65	na	na

Fonte: Autori.

Tabella 7 - Consumo di energia nello Scenario Sostenibile

BEPSPs	Purposes (and uses) in kWh/m ² y				
	Total	Heating	DHW	Lighting	Cooking
ECO					
EnergyPlus	170	66	70	24	10
Termolog	133	67	66	na	na
Termus	133	66	67	na	na
Blumatica	138	73	65	na	na
Docet	142	78	64	na	na

Fonte: Autori.

Tabella 8 - Differenza in valore assoluto e in percentuale, tra gli scenari alternativi

BEPSPs	Total in kWh/m ² y				Heating in kWh/m ² y			
	BAS	ECO	Δ	%	BAS	ECO	Δ	%
EnergyPlus	332	170	162	49	229	66	163	71
Termolog	296	133	163	55	230	67	163	71
Termus	300	133	167	56	235	66	169	72
Blumatica	298	138	160	54	233	73	160	69
Docet	297	142	155	52	232	78	154	66

Fonte: Autori.

Gli output del risparmio energetico, espressi in kWh/m² anno, derivati dalla simulazione energetica con i cinque diversi BEPSPs, ognuno con le proprie caratteristiche, sono straordinariamente convergenti, sia in valore assoluto che in percentuale.

La strategia della passivazione (o coibentazione) è stata testata anche incrementando a 10 cm lo spessore dei pannelli in sughero, per valutare l'impatto e le prestazioni ter-

miche del materiale. Anche in questo caso sono stati ottenuti ottimi risultati:

Tabella 9 - Consumo energetico e differenza tra i due scenari alternativi

BEPSPs	Purposes (and uses) in kWh/m ² y				
	Total	Heating	DHW	Lighting	Cooking
Termus					
BAS	300	235	65	na	na
ECO	110	42	67	na	na
Δ	190	193	+2	na	na
%	63	82	+3	na	na

Fonte: Autori.

Sono state confermate le incredibili prestazioni dei pannelli in sughero, utilizzando lo strumento Termus Bim sopra citato, con sorprendenti risultati di risparmio energetico, sia per il consumo totale, 63%, che per il solo riscaldamento, 82%.

Di seguito sono riportati i risultati della valutazione climatica, con lo strumento Termus Bim, simulata a Cortina d'Ampezzo (Belluno, BL), Zona Climatica F (con 365 giorni di riscaldamento, 4.433 gradi giorno (GG) e una temperatura media annua di 7,3 °C):

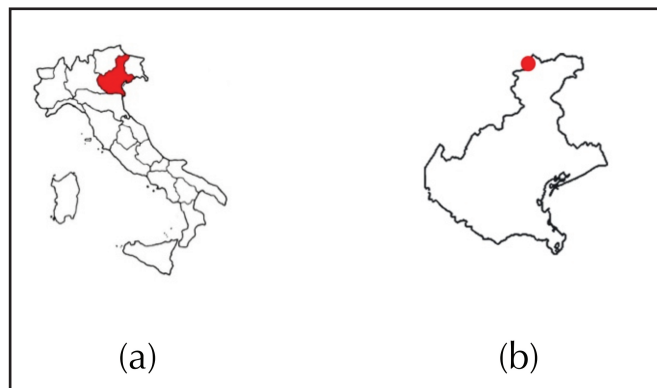


Figura 6 - (a) Italia e Veneto; (b) Comune della regione Veneto, Italia. Cortina d'Ampezzo, sede delle valutazioni climatiche ed energetiche. Fonte: Autori.

Tabella 10 - Consumi energetici a Cortina d'Ampezzo dei due scenari alternativi

BEPSPs	Purposes (and uses) in kWh/m ² y				
	Total	Heating	DHW	Lighting	Cooking
Termus					
BAS	968	892	76	na	na
ECO	378	301	77	na	na
Δ	590	591	+1	na	na
%	61	66	+1	na	na

Fonte: Autori.

Valutazione economica del risparmio energetico negli edifici verdi, supportata da nuove piattaforme BIM

La strategia della passivazione (o coibentazione) con il semplice utilizzo di pannelli di sughero da sei cm di spessore, è stata testata in due diverse Zone Climatiche, B e F, ottenendo ottimi risultati. Le incredibili prestazioni dei pannelli in sughero sono state confermate anche in una zona climatica estrema, utilizzando lo strumento Termus Bim sopra citato, con sorprendenti risultati di risparmio energetico sia per il consumo totale, 61%, che per il solo riscaldamento, 66%.

4.1.2 Risultati delle emissioni di CO₂ evitate

Il risparmio energetico favorisce diversi benefici tra cui un beneficio ecologico-ambientale, perché non consumando energia non viene emessa anidride carbonica nell'atmosfera. La tabella in basso mostra i risultati delle emissioni di CO₂ evitate ogni anno in kgCO₂/m² ottenuti con il test sull'Edificio:

Tabella 11 - Emissioni di CO₂ relative al consumo di energia nello Scenario Comune

BEPSPs	Purposes (and uses) in kWh/m ² y				
	Total	Heating	DHW	Lighting	Cooking
BAS	57	44	14	na	na
Termus	57	44	14	na	na
Blumatica	62	na	na	na	na
Docet	61	na	na	na	na

Fonte: Autori.

Tabella 12 - Emissioni di CO₂ relative ai consumi energetici nello Scenario Sostenibile (con 6 cm di pannelli in sughero e infissi di classe A)

BEPSPs	Purposes (and uses) in kWh/m ² y				
	Total	Heating	DHW	Lighting	Cooking
ECO	26	13	14	na	na
Termus	26	13	14	na	na
Blumatica	29	na	na	na	na
Docet	30	na	na	na	na

Fonte: Autori.

Tabella 13 - Confronto delle emissioni di CO₂ e differenza in valore assoluto e in percentuale, tra i due scenari alternativi

BEPSPs	Total in kWh/m ² y				Heating in kWh/m ² y			
	BAS	ECO	Δ	%	BAS	ECO	Δ	%
Termus	57	26	31	55	44	13	31	na
Blumatica	62	29	33	52	na	na	na	na
Docet	61	30	31	51	na	na	na	na

Fonte: Autori.

Di seguito i risultati dei consumi annui di kgCO₂/m² ottenuti con il test sull'edificio prototipo aumentando lo spessore dei pannelli di sughero a 10 cm nello scenario sostenibile:

Tabella 14 - Confronto delle emissioni di CO₂ tra lo Scenario Comune e lo Scenario Sostenibile

BEPSPs	Purposes (and uses) in kWh/m ² y				
	Total	Heating	DHW	Lighting	Cooking
BAS	57	44	14	na	na
ECO	22	8	14	na	na
Δ	35	36	0	na	na
%	62	82	0	na	na

Fonte: Autori.

La tabella in basso mostra i risultati dei consumi in kgCO₂/m² annui ottenuti con il test sull'Edificio Prototipo con lo strumento Termus Bim, simulato a Cortina d'Ampezzo, regione Veneto, Italia, Zona Climatica F:

Tabella 15 - Cortina d'Ampezzo: confronto delle emissioni di CO₂ tra i due scenari alternativi

BEPSPs	Purposes (and uses) in kWh/m ² y				
	Total	Heating	DHW	Lighting	Cooking
Termus	184	168	16	na	na
BAS	184	168	16	na	na
ECO	72	56	16	na	na
Δ	112	112	0	na	na
%	61	67	0	na	na

Fonte: Autori.

Anche i risultati emissioni di CO₂ evitate, espressi in kgCO₂/m² anno, derivati dalla simulazione energetica nei due diversi scenari, sono convergenti in misura sorprendente. Per la zona climatica B, il tasso di mitigazione dell'inquinamento è di circa il 55%, mentre per la zona climatica F è di circa il 61%.

Considerato che gli impatti economici e finanziari sono di grande rilevanza per la fattibilità della Strategia «Green Building», è stata elaborata una dettagliata stima finanziaria.

5. VALUTAZIONE ECONOMICA DELL'IMPATTO DELLA PASSIVAZIONE

5.1 Fattibilità Economica della Strategia Sostenibile

Rendere gli edifici verdi ed efficienti dal punto di vista energetico è la strategia economica in grado di mitigare il



duplice dramma che il mondo sta affrontando: energetico e di conseguenza climatico.

Alle strategie risolutive molto spesso si contrappongono pretesti di non fattibilità economica mentre la realtà è esattamente il contrario, e ciò va spiegato in termini economici.

Vi è una convenienza economica monetaria, oltre che ovviamente ecologica, nella Strategia "Green Building" molto spesso ignorata. Purtroppo, questa strategia è a volte erroneamente fraintesa e diabolicamente distorta come un costo aggiuntivo e passivo e non come un risolutivo e decisivo investimento nella soluzione perpetua dei problemi ecologici planetari.

Non vi sono ragioni oggettive per ostacolare la strategia sostenibile o "Green Building", le barriere o gli ostacoli sono legati all'inadeguata percezione degli utenti. Questi devono essere neutralizzati e superati da una chiara e rigorosa valutazione economica scientifica (spiegando i molteplici benefici immediati e multipli della passivazione ecologica).

Solo una vera stima finanziaria preliminare evidenzia la convenienza di uno scenario sostenibile, non solo in termini di risparmio energetico, tutela dell'ambiente, riduzione dell'inquinamento e migliore qualità degli ambienti interni (Kats et al., 2003; Kats et al., 2006; Kats et al., 2010; Kats et al., 2018) ma anche, nel medio-lungo periodo, in termini di un risultato monetario/finanziario favorevole.

5.2 Metodo e Strumenti: Valore Attuale Netto, Prezzo dell'Energia e Costo Sociale del Carbonio

La presente ricerca ha anche lo scopo di valutare e verificare se il costo aggiuntivo iniziale differenziale dello Scenario Sostenibile (rispetto ai costi comuni e insostenibili dello scenario convenzionale) ha un Pay-Back o rimborso (contando il numero di anni necessari per recuperare l'importo aggiuntivo investito) di tale costo differenziale in un periodo accettabile a breve termine, e se il suo importo è ragionevole e conveniente.

Il periodo di analisi è esteso fino a 20 anni.

La fattibilità degli interventi richiede la misurazione della redditività finanziaria attraverso indicatori, come il VAN.

Il VAN rappresenta il beneficio monetario prodotto da uno Scenario Sostenibile, ed è calcolato come segue:

$$VAN = \sum_{i=0}^n \frac{CF_i}{(1+r)^i} - I_0$$

con:

- CF_i il flusso di cassa al i -esimo anno;
- r il tasso di attualizzazione;
- I_0 il costo dell'investimento iniziale.

Approfondite ricerche scientifiche e di mercato forniscono consigli e cifre sui prezzi del mercato dell'energia:

- Energia termica, gas (€/m³): 2,73 (fatture o comunemente "bollette");
- Energia termica, gas (€/kWh): 0,25 (fatture o comunemente "bollette");

Approfondite ricerche scientifiche e di mercato forniscono consigli e cifre riguardanti la CO₂, ovvero il costo sociale conservativo del carbonio:

Il costo sociale del carbonio(€/kg): 0,30. Costo ambientale equivalente (Stern, 2006; Ackerman et al., 2010; Ackerman et al., 2012; Ceronsky et al., 2014; Clarkson et al., 2002; Griffiths et al., 2010; Hanemann, 2009; Gruppo di lavoro interagenzie, 2015; Watkiss et al., 2005).

5.3 Risultati della Valutazione Economica dell'Edificio Prototipo

La valutazione energetica ha fornito dati sui significativi risparmi prodotti dallo Scenario Sostenibile, sia in termini di energia che di evitate emissioni di CO₂.

Per ottenere il costo monetario del consumo annuo di energia e delle evitate emissioni di CO₂ del Caso Studio, è possibile trasformare in costi l'energia richiesta e le emissioni generate, per entrambi gli scenari, ottenute dalla precedente valutazione energetica moltiplicando il kWh totale per il costo unitario di un kWh (costi di gestione = fabbisogno energetico × area riscaldata × costo energetico: €/kWh) e il totale kgCO₂ per il costo unitario di un kgCO₂ (emissioni di CO₂ × area riscaldata × costo sociale del carbonio: €/kg).

Di seguito i risultati dei costi di gestione dell'energia, in entrambi gli scenari, utilizzando pannelli di sughero da 6 cm o 10 cm.

Tabella 16 - Consumi energetici a Cortina d'Ampezzo dei due scenari alternativi

	Energy need	Heated Area	Total Annual	Energy price	Management cost
	kWh/m ² y	m ²	kWh/y	€/kWh	€
BAS	300	18.33	5,499	0.25	1,374.75
ECO	133	18.33	2,438	0.25	609.50
Δ					-765.25
%					-55.66

Fonte: Stima monetaria dettagliata e "lavori di costruzione" degli autori.



Valutazione economica del risparmio energetico negli edifici verdi, supportata da nuove piattaforme BIM

Tabella 17 - Costi di gestione energetica per lo Scenario Comune e Sostenibile (con 10 cm di pannelli in sughero)

	Energy need	Heated Area	Total Annual	Energy price	Management cost
	kWh/m ² y	m ²	kWh/y	€/kWh	€
BAS	300	18.33	5,499	0.25	1,374.75
ECO	110	18.33	2,016	0.25	504.00
Δ					-870.75
%					-63.34

Fonte: Autori.

Utilizzando 6 cm di pannelli di sughero nello Scenario Sostenibile, il costo monetario del risparmio energetico annuo è pari a -€ 765,25 (-56% dei costi di gestione dello Scenario Comune).

Utilizzando invece 10 cm di pannelli di sughero per la passivazione, il costo monetario del risparmio energetico annuo è pari a -€ 870,75 (-63% dei costi di gestione dello scenario insostenibile).

Di seguito vengono riportati i costi delle emissioni di CO₂ in entrambi gli scenari, utilizzando pannelli di sughero da 6 cm o 10 cm.

Tabella 18 - Costo sociale del carbonio evitato per lo scenario Comune e Sostenibile (con 6 cm di pannelli di sughero)

	CO ₂ emissions	Heated Area	Total Annual	CSC price	Management cost
	KgCO ₂ /m ² y	m ²	KgCO ₂ /y	€/kg	€
BAS	57	18.33	1,045	0.30	313.50
ECO	26	18.33	477	0.30	143.10
Δ					-170.40
%					-54.35

Fonte: Autori.

Tabella 19 - Costo sociale del carbonio evitato per lo scenario Comune e Sostenibile (con 10 cm di pannelli di sughero)

	CO ₂ emissions	Heated Area	Total Annual	CSC price	Management cost
	KgCO ₂ /m ² y	m ²	KgCO ₂ /y	€/kg	€
BAS	57	18.33	1,045	0.30	313.50
ECO	22	18.33	403.26	0.30	120.98
Δ					-192.52
%					-61.41

Fonte: Autori.

Il costo sociale delle emissioni annuali di CO₂ evitate è pari a -€ 170,40 (-54%), utilizzando 6 cm di pannelli di sughero per la passivazione, e -€ 192,52 (-61%) utilizzando 10 cm nello Scenario Sostenibile.

La ricerca fornisce i costi finanziari coinvolti nella costruzione degli scenari alternativi, sulla base di stime analitiche e di dettaglio, analizzate dagli stessi Autori nell'analoga ricerca precedente (Massimo et al., 2021).

Gli importi totali dei costi di costruzione degli scenari alternativi sono i seguenti:

- € 37.156,68 per lo Scenario Comune;
- € 40.378,00 per lo Scenario Sostenibile utilizzando 6 cm di pannelli in sughero;
- € 43.354,73 per lo Scenario Sostenibile utilizzando 10 cm di pannelli in sughero.

Utilizzando 6 cm di pannelli in sughero, lo Scenario Sostenibile implica un costo iniziale di costruzione più elevato di € 3.221,32 a causa dell'alta qualità dei materiali utilizzati.

Utilizzando 10 cm di pannelli di sughero per la passivazione, il costo di costruzione dello Scenario Sostenibile sale a € 43.354,73 con una differenza, rispetto allo Scenario Comune, di € 6.198,05.

Di seguito sono riportati i risultati del confronto dei costi di costruzione dell'investimento dei due diversi scenari.

Tabella 20 - Costo differenziale (=Δ) dello Scenario Sostenibile (con 6 cm di pannelli di sughero)

	Total cost	Area	Volume	Cost	Cost
	€	m ²	m ³	€/m ²	€/m ³
BAS	37,156.68	25.50	81.60	1,457.12	455.35
ECO	40,378.00	26.21	83.87	1,540.56	481.44
Δ	3,221.32				
%	7.98				

Fonte: Autori.

La differenza, sia in termini monetari che percentuali, è minima: +3.221,32 € = 7,98%.

Tabella 21 - Costo differenziale (=Δ) dello Scenario Sostenibile (con 10 cm di pannelli di sughero)

	Total cost	Area	Volume	Cost	Cost
	€	m ²	m ³	€/m ²	€/m ³
BAS	37,156.68	25.50	81.60	1,457.12	455.35
ECO	43,354.73	26.21	83.87	1,654.13	516.93
Δ	6,198.05				
%	14.30				

Fonte: Autori.

Inoltre, aumentando lo spessore dei pannelli di sughero, la differenza, sia in termini monetari che percentuali, è ancora piccola: +6.198,05 € = 14,30%.

Anche se l'intervento comune è inizialmente più economico di quello sostenibile dal punto di vista monetario, per avere un pensiero diverso è sufficiente aggiungere ai costi iniziali di costruzione i costi energetici, e i kgCO₂, di gestione scontati negli anni. Il risultato è che in uno Scenario Sostenibile, i costi di gestione dell'energia, e quindi quelli delle emissioni di CO₂, diminuiscono notevolmente e portano a un risparmio monetario favorevole, consentendo di pareggiare in tempi ragionevoli la percentuale dei maggiori costi iniziali di costruzione.

Ipotizzando un tasso di interesse del 4% per attualizzare i costi operativi, è possibile stimare e attualizzare il risparmio monetario approssimativo nel medio-lungo periodo degli interventi.

Nella tabella seguente sono riportati i risultati del Pay-Back, in vent'anni, del costo differenziale di costruzione (€ 3.221,32), utilizzando 6 cm di pannelli di sughero per la passivazione:

Tabella 22 - Pay Back, in vent'anni, del Costo differenziale (3.221,32 €), utilizzando 6 cm di pannelli di sughero

Years	Annual Saving	Coeff. Actual	Actual Value BAS	Actual Value ECO	Annual Present Value	Sum Up
n.	€	1/q ⁿ			€	€
1	765.25	0.96	1,319.76	585.12	734.64	734.64
2	765.25	0.92	1,264.77	560.74	704.03	1,438.67
3	765.25	0.89	1,223.53	542.45	681.07	2,119.74
4	765.25	0.85	1,168.54	518.07	650.46	2,770.20
5	765.25	0.82	1,127.29	499.79	627.50	3,397.71
6	765.25	0.79	1,086.05	481.50	604.55	4,002.26
7	765.25	0.76	1,044.81	463.22	581.59	4,583.85
8	765.25	0.73	1,003.57	444.93	558.63	5,142.48
9	765.25	0.70	962.32	426.65	535.67	5,678.15
10	765.25	0.68	934.83	414.46	520.37	6,198.52
11	765.25	0.65	893.59	396.17	497.41	6,695.94
12	765.25	0.62	852.34	377.89	474.45	7,170.39
13	765.25	0.60	824.85	365.70	459.15	7,629.54
14	765.25	0.58	797.35	353.51	443.84	8,073.39
15	765.25	0.56	769.86	341.32	428.54	8,501.93
16	765.25	0.53	728.62	323.03	405.58	8,907.51
17	765.25	0.51	701.12	310.84	390.28	9,297.79
18	765.25	0.49	673.63	298.65	374.97	9,672.76
19	765.25	0.47	646.13	286.46	359.67	10,032.43
20	765.25	0.46	632.38	280.37	352.01	10,384.4
Total			18,655.36	8,270.91		

*Rate i = 4% - Fonte: Autori.

A fronte di un tasso di interesse molto prudente del 4%, il leggero sovrapprezzo iniziale (€ 3.221) per la passivazione bioecologica sostenibile dell'edificio nel secondo scenario verrebbe ripagato in pochi anni, in soli cinque anni (Tab. 22). I risparmi successivi, a seguito del differenziale di costo Pay-Back, rappresentano un puro valore aggiunto positivo.

In un periodo di vent'anni è possibile confrontare il differenziale del costo iniziale di costruzione di € 3.221,32 con il risparmio energetico attuato nei diversi anni: € 3.397,71 al quinto anno, € 6.198,52 al decimo anno, € 8.501,93 al quindicesimo anno e € 10.384,44 al ventesimo anno. Pertanto, il maggior costo differenziale iniziale di passivazione nello Scenario Sostenibile sembra essere compensato dal parallelo risparmio energetico, in un arco di tempo che potrebbe essere considerato adeguato e ragionevole. Dopo tale data, la redditività monetaria della sostenibilità cresce in modo esponenziale.

Nella tabella seguente sono riportati i risultati del Pay Back, in vent'anni, del costo differenziale di costruzione (6.198,05 €), utilizzando 10 cm di pannelli in sughero nello Scenario Sostenibile:

Tabella 23 - Pay Back, in vent'anni, del Costo differenziale (6.198,05 €), utilizzando 10 cm di pannelli di sughero

Years	Annual Saving	Coeff. Actual	Actual Value BAS	Actual Value ECO	Annual Present Value	Sum Up
n.	€	1/q ⁿ			€	€
1	870.75	0.96	1,319.76	483.84	835.92	835.92
2	870.75	0.92	1,264.77	463.68	801.09	1,637.01
3	870.75	0.89	1,223.53	448.56	774.97	2,411.98
4	870.75	0.85	1,168.54	428.40	740.14	3,152.12
5	870.75	0.82	1,127.29	413.28	714.02	3,866.13
6	870.75	0.79	1,086.05	398.16	687.89	4,554.02
7	870.75	0.76	1,044.81	383.04	661.77	5,215.79
8	870.75	0.73	1,003.57	367.92	635.65	5,851.44
9	870.75	0.70	962.32	352.80	609.53	6,460.97
10	870.75	0.68	934.83	342.72	592.11	7,053.08
11	870.75	0.65	893.59	327.60	565.99	7,619.06
12	870.75	0.62	852.34	312.48	539.87	8,158.93
13	870.75	0.60	824.85	302.40	522.45	8,681.38
14	870.75	0.58	797.35	292.32	505.04	9,186.41
15	870.75	0.56	769.86	282.24	487.62	9,674.03
16	870.75	0.53	728.62	267.12	461.50	10,135.53
17	870.75	0.51	701.12	257.04	444.08	10,579.61
18	870.75	0.49	673.63	246.96	426.67	11,006.28
19	870.75	0.47	646.13	236.88	409.25	11,415.53
20	870.75	0.46	632.38	231.84	400.55	11,816.08
Total			18,655.36	6,839.28		

*Rate i = 4% - Fonte: Autori.

Valutazione economica del risparmio energetico negli edifici verdi, supportata da nuove piattaforme BIM

un periodo di vent'anni, è possibile confrontare il differenziale del costo iniziale di realizzazione del Prototipo di 6.198,05 con il risparmio energetico attuato nei diversi anni: € 3.866,13 al quinto anno, € 7.053,08 al decimo anno, € 9.674,03 al quindicesimo anno e € 11.816,08 al ventesimo anno. Pertanto, il maggior costo iniziale di passivazione nello Scenario Sostenibile sembra essere compensato dal parallelo risparmio energetico, in un arco di tempo che potrebbe essere considerato adeguato e ragionevole, solo in 9 anni (Tab. 23).

Il risparmio energetico crea diversi vantaggi:

- 1) Energetico ed economico-monetario. i kWh non vengono consumati e quindi non devono essere pagati;
- 2) Ecologico-ambientale ed economico-monetario. L'anidride carbonica non viene emessa nell'atmosfera che, danneggiando, innesca il costo sociale del carbonio. Questo viene evitato con la Strategia "Green Building".

Le emissioni annue di anidride carbonica CO₂ nei due scenari alternativi ammontano a:

- CO₂ (Scenario Comune): 57 kg/m² anno;
- CO₂ (ECO con 6 cm di pannelli di sughero): 26 kg/m² anno; CO₂ (ECO con 10 cm di pannelli di sughero): 22 kg/m² anno. Determinando una riduzione delle emissioni nella misura di:
 - - 31 kg/m² anno, utilizzando 6 cm di pannelli di sughero;
 - - 36 kg/m² anno aumentando lo spessore dei pannelli di sughero a 10 cm.

Secondo la letteratura scientifica, il costo sociale conservativo del carbonio è di 0,30 €/kg (Stern, 2006; Ackerman et al., 2010; Ackerman et al., 2012; Ceronsky et al., 2014; Clarkson et al., 2002; Griffiths et al., 2010; Hanemann, 2009; Gruppo di lavoro interagenzie, 2015; Watkiss et al., 2005).

Di seguito sono riportati i risultati dei Flussi di Cassa (Cash Flows), in vent'anni, del costo sociale del carbonio, utilizzando 6 cm di pannelli di sughero nello Scenario Sostenibile:

Tabella 24 - Flussi di cassa, in vent'anni, di costo sociale del carbonio, utilizzando 6 cm di pannelli di sughero

Years	Annual Saving	Coeff. Actual	Actual Value BAS	Actual Value ECO	Annual Present Value	Sum Up
n.	€	1/q ⁿ			€	€
1	170.40	0.96	300.96	137.38	163.58	163.58
2	170.40	0.92	288.42	131.65	156.77	320.35
3	170.40	0.89	279.02	127.36	151.66	472.01
4	170.40	0.85	266.48	121.64	144.84	616.85
5	170.40	0.82	257.07	117.34	139.73	756.58
6	170.40	0.79	247.67	113.05	134.62	891.19
7	170.40	0.76	238.26	108.76	129.50	1,020.70
8	170.40	0.73	228.86	104.46	124.39	1,145.09
9	170.40	0.70	219.45	100.17	119.28	1,264.37

Segue Tab. 24

Segue Tabella 24 - Flussi di cassa, in vent'anni, di costo sociale del carbonio, utilizzando 6 cm di pannelli di sughero

Years	Annual Saving	Coeff. Actual	Actual Value BAS	Actual Value ECO	Annual Present Value	Sum Up
n.	€	1/q ⁿ			€	€
10	170.40	0.68	213.18	97.31	115.87	1,380.24
11	170.40	0.65	203.78	93.02	110.76	1,491.00
12	170.40	0.62	194.37	88.72	105.65	1,596.65
13	170.40	0.60	188.10	85.86	102.24	1,698.89
14	170.40	0.58	181.83	83.00	98.83	1,797.72
15	170.40	0.56	175.56	80.14	95.42	1,893.14
16	170.40	0.53	166.16	75.84	90.31	1,983.46
17	170.40	0.51	159.89	72.98	86.90	2,070.36
18	170.40	0.49	153.62	70.12	83.50	2,153.86
19	170.40	0.47	147.35	67.26	80.09	2,233.94
20	170.40	0.46	144.21	65.83	78.38	2,312.33
Total			4,254.20	1,941.87		

*Rate $i = 4\%$ - Fonte: Autori.

Utilizzando 6 cm di pannelli di sughero nello Scenario Ecologico, il costo sociale della quantità di CO₂ evitata, in un periodo di vent'anni, è di € 2.312,33.

Nella tabella seguente sono riportati i risultati dei Flussi di Cassa, in vent'anni, del costo sociale del carbonio, utilizzando 10 cm di pannelli di sughero nello Scenario Sostenibile:

Tabella 25 - Flussi di cassa, in vent'anni, di costo sociale del carbonio, utilizzando 10 cm di pannelli di sughero

Years	Annual Saving	Coeff. Actual	Actual Value BAS	Actual Value ECO	Annual Present Value	Sum Up
n.	€	1/q ⁿ			€	€
1	192.52	0.96	300.96	116.14	184.82	184.82
2	192.52	0.92	288.42	111.30	177.12	316.94
3	192.52	0.89	279.02	107.67	171.34	533.28
4	192.52	0.85	266.48	102.83	163.64	696.92
5	192.52	0.82	257.07	99.20	157.87	854.79
6	192.52	0.79	247.67	95.57	152.09	1,006.88
7	192.52	0.76	238.26	91.94	146.32	1,153.19
8	192.52	0.73	228.86	88.32	140.54	1,293.73
9	192.52	0.70	219.45	84.69	134.76	1,428.50
10	192.52	0.68	213.18	82.27	130.91	1,559.41
11	192.52	0.65	203.78	78.64	125.14	1,684.55
12	192.52	0.62	194.37	75.01	119.36	1,803.91
13	192.52	0.60	188.10	72.59	115.51	1,919.42

Segue Tab. 25

Segue Tabella 25 - Flussi di cassa, in vent'anni, di costo sociale del carbonio, utilizzando 10 cm di pannelli di sughero

Years	Annual Saving	Coeff. Actual	Actual Value BAS	Actual Value ECO	Annual Present Value	Sum Up
n.	€	1/q ⁿ			€	€
14	192.52	0.58	181.83	70.17	111.66	2,031.09
15	192.52	0.56	175.56	67.75	107.81	2,138.90
16	192.52	0.53	166.16	64.12	102.04	2,240.93
17	192.52	0.51	159.89	61.70	98.19	2,339.12
18	192.52	0.49	153.62	59.28	94.33	2,433.45
19	192.52	0.47	147.35	56.86	90.48	2,523.94
20	192.52	0.46	144.21	55.65	88.56	2,612.50
Total			4,254.20	1,641.70		

*Rate $i = 4\%$ - Fonte: Autori.

Utilizzando invece 10 cm di pannelli di sughero nello Scenario Sostenibile, il costo sociale della quantità di CO₂ evitata, in un periodo di vent'anni, è di € 2.612,50.

Le emissioni climalteranti totali annue evitate dall'Edificio Prototipo, nel tempo, sono:

- dopo 1 anno: kg totali evitati 192;
- dopo 5 anni: kgCO₂ totale 960;
- dopo 10 anni: kgCO₂ totali 1.920;
- dopo 20 anni: kgCO₂ totali 3.840;
- dopo 50 anni: kgCO₂ totali 9.600.

Utilizzando 6 cm di pannelli di sughero nello scenario ecologico, una prima somma dei benefici economici in 20 anni è: 10.384,44 € + 2.312,33 € = 12.696,77 €.

Il solo risparmio energetico e l'evitato inquinamento da CO₂ recupera il costo differenziale e genera valore aggiunto:

$12.697 / 40.378 \text{ €} = 0,3145$ e quindi il 31,45% del costo totale dell'investimento di costruzione.

Utilizzando invece 10 cm di pannelli di sughero nello scenario ecologico, sommando la quantità del risparmio energetico e la quantità di CO₂ evitata si dà una prima visione della quantità combinata dei benefici economici. Come segue:

$11.816,08 \text{ €} + 2.612,50 \text{ €} = 14.428,58 \text{ €}$.

Il solo risparmio energetico e l'evitato inquinamento da CO₂ recupera il costo differenziale e genera valore aggiunto:

$14.429 / 43.355 \text{ €} = 0,3328$ e quindi è il 33,28% del costo totale dell'investimento di costruzione.

6. DISCUSSIONI

Il settore civile è il più grande consumatore di energia fossile a livello mondiale ed è quindi anche il più grande in-

quinatore e la più grave causa del cambiamento climatico. Una enorme quantità di consumo di energia fossile negli edifici civili è dovuta alla loro gestione climatica e quindi al mantenimento del loro comfort abitativo interno. Una maggiore efficienza nella gestione climatica interna ai fabbricati dell'intero settore civile può fare la differenza sostanziale nel superamento del riscaldamento globale. Infatti la coibentazione con materiali naturali, e quindi il risparmio energetico, riduce alla radice il consumo di energia fossile degli edifici. L'efficienza energetica è quindi: un investimento significativo nel capitale sociale (Kats et al., 2003; Kats et al., 2006; Kats et al., 2010; Kats et al., 2018), la più grande opportunità per mitigare e superare il cambiamento climatico, ed è anche l'investimento più intelligente per famiglie, utenti, appaltatori, proprietari. Infatti, oltre ad essere un capitale permanente e duraturo, genera anche benefici immediati, permanenti e perpetui (D'Agostino et al., 2017).

La ricerca si è proposta di verificare, valutare e quantificare i molteplici effetti positivi, economici ed ecologici, della transizione ecologica (mediante "passivazione") nei fabbricati sperimentandola su un Edificio Prototipo, in due scenari alternativi comparativi:

- lo Scenario Comune (o Business As Usual, BAS), con una struttura ordinaria, tipica degli anni sessanta e quindi priva di efficienza energetica, e questo rappresenta uno scenario di partenza per molti (90%) degli edifici esistenti oggi nel mondo;
- lo Scenario Sostenibile (o ECO) o Strategia "Green Building", con quantificabile efficienza energetica ottenuta mediante adozione di tecniche e materiali innovativi e naturali, che evitano ulteriori emissioni climalteranti nell'ambiente.

Poiché gli impatti economici e finanziari sono di grande rilevanza per la fattibilità della Strategia «Green Building», è stata elaborata una stima finanziaria che ha da subito evidenziato anche la convenienza economica-finanziaria-monetaria, oltre che ovviamente ecologica, dello scenario sostenibile. I consumi energetici di entrambi gli scenari sono stati simulati e analizzati con cinque diversi BEPSPs, ognuno dei quali ha fornito un ulteriore e significativo contributo alla ricerca rispetto ai precedenti analoghi studi degli stessi Autori.

I risultati ottenuti dalle varie simulazioni incoraggiano a proseguire la strategia sostenibile: con soli 6 cm di pannelli in sughero il risparmio energetico ammonta a circa il 71%, ipotizzando un impianto di solo riscaldamento, e a circa il 55%, utilizzando un impianto combinato di riscaldamento e ACS, ben al di sopra dell'obiettivo fissato di - 40% di riduzione entro il 2030 previsto dalla Direttiva UE 2018/844.

L'inquinamento da CO₂ viene evitato sempre con la stessa percentuale, ben al di sopra dell'obiettivo prefissato del 40% entro il 2030 della Direttiva UE 2018/844.

Successivamente, è stato testato anche lo Scenario Sostenibile aumentando a 10 cm lo spessore dei pannelli di sughero naturale, questo ha confermato e incrementato gli

incredibili risultati ottenuti: il risparmio energetico ammonta a circa l'82%, ipotizzando un impianto di solo riscaldamento, e di circa il 63%, utilizzando un impianto combinato di riscaldamento e ACS.

La strategia sostenibile è stata testata anche ipotizzando che l'Edificio Prototipo fosse situato in una zona climatica alpina estrema, Zona Climatica F (Cortina d'Ampezzo, Belluno, BL, Italia), e anche in questo caso la strategia si è rivelata vincente, ottenendo un risparmio del 66% simulando un impianto di solo riscaldamento, e del 61% simulando un impianto combinato, ben al di sopra dell'obiettivo continentale a breve termine fissato di – riduzione del 40% entro il 2030 richiesto dalla Direttiva UE 2018/844.

7. PRIME OSSERVAZIONI CONCLUSIVE

La ricerca ha raggiunto l'obiettivo generale di: acquisire l'evidenza empirica dei significativi e notevoli benefici prodotti dalla passivazione con pannelli ecologici che realizzano una migliore salubrità e una maggiore efficienza energetica dell'Edificio Prototipo nel caso di studio; dimostrare la fattibilità finanziaria e redditività economica dell'intervento. I pannelli adottati sono realizzati con sughero naturale locale (quindi bio ecologico), una materia prima naturale, unica e salubre, che è stata finora sottovalutata, negletta e poco utilizzata.

Inoltre, la ricerca ha raggiunto più obiettivi specifici.

In *primo luogo*, la strategia sostenibile è stata applicata, e quindi testata, ad un elemento chiave della ricerca, ovvero l'Edificio Prototipo, utilizzando, per cominciare, la piattaforma di simulazione delle prestazioni energetiche "Termolog". L'Edificio Prototipo è un esempio estremo di costruzione semplificata, con i più alti tassi di dispersione termica (tutti i sei lati sono disperdenti), e questo ha consentito di poter vedere immediatamente i risultati ottenuti con le simulazioni.

In *secondo luogo*, la valutazione, effettuata utilizzando la piattaforma Termolog, ha dimostrato che il cappotto ecologico (= *coh i bens*; coibente); produce immediatamente un risparmio di oltre il 40% nel consumo energetico totale annuo nell'Edificio Prototipo del caso studio. Ricordando il calcolo dsi cui sopra, utilizzando semplicemente un pannello di sei cm di spessore, il risparmio energetico per il riscaldamento (ancora il più grande obiettivo di consumo di energia, finora, nella regione) è superiore al 71% (secondo Termolog) e il risparmio energetico totale (riscaldamento più ACS) è del 55% (secondo Termolog) ben al di sopra dell'obiettivo fissato di riduzione del 40% entro il 2030 richiesto dalla Direttiva UE 2018/844.

In *terzo luogo*, sono state adottate e applicate, alla costruzione dell'Edificio Prototipo nel caso studio, le nuove piattaforme BIM di Termus e Blumatica. I risultati sono stati confrontati con quelli delle nuove versioni aggiornate di altre piattaforme BEPSPs come Energy Plus e Decet. Tutti hanno fornito risultati convergenti sui nuovi numeri sulla stima finale del consumo energetico globale nell'Edificio Prototipo. È inoltre possibile ottenere nuove informazioni relative alla

ripartizione dell'energia utilizzata per i diversi scopi, ad esempio riscaldamento, ACS, illuminazione, cottura, etc.

In *quarto luogo*, tutti i dati ottenuti in termini di kWh e di emissioni di CO₂ sono stati moltiplicati per i relativi prezzi e costi, il prezzo dell'energia termica e il costo sociale del carbonio. I risultati hanno fornito le stime totali comparative, in entrambi i casi, dei due interventi nei due scenari alternativi. Le analisi economiche effettuate dimostrano la fattibilità economica della strategia proposta, che consente di avere, oltre ad un miglioramento del comfort termico, anche la riduzione delle spese monetarie di gestione dell'energia e la riduzione della quantità del costo sociale del carbonio. Sebbene i costi iniziali, o extra costi, dell'intervento sostenibile siano superiori a quello comune (costo differenziale: € 3.221,32), la valutazione economica mostra come questo differenziale di costo venga recuperato rapidamente, in soli cinque anni, grazie alla significativa riduzione delle spese annuali di gestione dell'energia.

Questo risultato è stato raggiunto aggiornando il risparmio energetico annuo e le emissioni di CO₂ evitate in 20 anni di intervento, considerando un tasso di interesse conservativo del 4% e valutando i due scenari alternativi. La valutazione economica dei costi differenziali di intervento iniziale, dei costi di gestione energetica e del costo sociale del carbonio nei due scenari alternativi, per periodi che vanno da 1 a 20 anni, mostra la straordinaria convenienza nel tempo, sia ecologica che monetaria, dell'edilizia sostenibile ovvero della Strategia "Green Building".

La bioedilizia ha quindi senso dal punto di vista economico.

La ricerca ha raggiunto l'obiettivo generale e gli obiettivi specifici prefissati, ottenendo l'evidenza empirica degli straordinari impatti/benefici prodotti dalla coibentazione con pannelli organici ecologici di dimensioni estremamente piccole (da soli sei o dieci cm di spessore) realizzati con sughero naturale locale in una nuova struttura di economia circolare locale.

Poiché esiste una lacuna nel mondo reale e una forte richiesta nel mondo della ricerca (Hopkins, 2016) di valutazione riguardante la fattibilità economica della strategia "Green Building", la presente ricerca mira a contribuire a rispondere a queste esigenze di valutazione economica.

8. ULTERIORI RICERCHE FUTURE

I risultati raggiunti incoraggiano a pianificare in anticipo ulteriori ricerche future, nei settori quali:

- la valutazione del comportamento climatico e termico del solo involucro edilizio dell'Edificio Prototipo;
- la valutazione di nuove evidenze empiriche del premio di mercato per i Green Buildings (Massimo, 2011; Massimo et al., 2012; Massimo, 2013; Del Giudice et al., 2019; De Paola et al., 2019; Massimo et al., 2019; Del Giudice et al., 2021; Del Giudice, 2021; De Paola et al., 2021; Massimo et al., 2022);
- la valutazione della riqualificazione ecologica per l'efficienza energetica nel patrimonio architettonico (Mas-

- la valutazione della progettazione energetica, sana e sostenibile (Shoshany et al., 2020; Pulselli et al., 2009; Marchettini et al., 2014; Marchi et al., 2015; Marchi et al., 2017; Pulselli et al., 2021; Armato, 2021; Follesa et al., 2022);
- il rapporto tra costi di intervento e valore dell'immobile anche in termini di sicurezza (Del Giudice, 2014; Manganeli, 2018).

* **Mariangela Musolino**, GeVaUL, Geomatic Valuation University Laboratory, Patrimony Architecture Urbanism (PAU) Department, Mediterranean University of Reggio Calabria, 25 Viale dell'Università, 89124 Reggio Calabria, Italy
e-mail: mariangela.musolino@unirc.it

** **Domenico Enrico Massimo**, GeVaUL, Geomatic Valuation University Laboratory, Patrimony Architecture Urbanism (PAU) Department, Mediterranean University of Reggio Calabria, 25 Viale dell'Università, 89124 Reggio Calabria, Italy
e-mail: demassimo@gmail.com

*** **Concettina Marino**, Department of Energy, Environment, Material Engineering, Mediterranean University of Reggio Calabria, Graziella Road, 89131 Reggio Calabria, Italy
e-mail: concettina.marino@unirc.it

**** **Pierfrancesco De Paola**, Department of Industrial Engineering, University of Naples "Federico II", 80 Vincenzo Tecchio Sq., 80125 Naples, Italy
e-mail: pierfrancesco.depaola@unina.it

***** **Roberta Errigo**, GeVaUL, Geomatic Valuation University Laboratory, Patrimony Architecture Urbanism (PAU) Department, Mediterranean University of Reggio Calabria, 25 Viale dell'Università, 89124 Reggio Calabria, Italy
e-mail: robertaerrigo23@gmail.com

***** **Alessandro Malerba**, GeVaUL, Geomatic Valuation University Laboratory, Patrimony Architecture Urbanism (PAU) Department, Mediterranean University of Reggio Calabria, 25 Viale dell'Università, 89124 Reggio Calabria, Italy
e-mail: malerbale@gmail.com

***** **Francesco Paolo Del Giudice**, Department of Architecture and Design, University of Rome "Sapienza", 9 Borghese Sq., 00186 Rome, Italy
e-mail: francescopaolo.delgiudice@uniroma1.it

Contributi dell'autore

Gli autori hanno contribuito in egual misura all'articolo. Tutti gli autori hanno letto e accettato la versione pubblicata del manoscritto.

Bibliografia

ACCA SOFTWARE, Software Simulazione Energetica, TerMus. (downloadable from the website: <https://www.acca.it/software-certificazione-energetica>, consulted on February 01, 2023).

ACKERMAN F., STANTON E., *The Social Cost of Carbon*. Report for the Economics for Equity and the Environment Network, 2010.

ACKERMAN F., STANTON E., *Climate Risks and Carbon Prices: Revising the Social Cost of Carbon*. Economics: The Open-Access, Open-Assessment E-Journal, 2012, Vol. 6.

ADAMCZYKA J., DYLEWSKIB R., *The impact of thermal insulation investments on sustainability in the construction sector*. Renewable and Sustainable Energy Reviews 2017, Vol. 80, pp. 421-429, doi.org/10.1016

/j.rser.2017.05.173.

AGENZIA DELLE ENTRATE, Rapporto Immobiliare: il settore residenziale. 2021 (downloadable from the website: https://www.agenziaentrate.gov.it/portale/documents/20143/262451/RI2021_Residenziale_20210520.pdf/3c102dea-0923-a86f-5371-aa57c61827f3, consulted on February 01, 2023).

AGENZIA NAZIONALE PER LE NUOVE TECNOLOGIE, L'ENERGIA E LO SVILUPPO ECONOMICO SOSTENIBILE (ENEA). Docet (downloadable from the website: <https://pnpe2.enea.it/docet>, consulted on February 01, 2023).

AGENZIA NAZIONALE PER LE NUOVE TECNOLOGIE, L'ENERGIA E LO SVILUPPO ECONOMICO SOSTENIBILE (ENEA). Rapporto annuale sull'efficienza energetica: Analisi e risultati delle policy di efficienza energetica del nostro paese. 2021 (downloadable from the website: <https://www.ufficienzaenergetica.enea.it/component/jdownloads/?task=do>

wnload.send&id=554&catid=9&Itemid=101, consulted on February 01, 2023).

ALLEN J., Designing Buildings that Are Both Well-Ventilated and Green. Harvard Business Review 2023 (downloadable from the website: <https://hbr.org/2023/01/designing-buildings-that-are-both-well-ventilated-and-green>, consulted on February 01, 2023).

ARMATO F., *Il design e l'ospite ostile*. Narrare i Gruppi, Latest 2021, pp. 01-06, doi.org/10.1016/j.rser.2020.110612.

AUTORITÀ DI REGOLAZIONE PER ENERGIA RETI E AMBIENTE (ARERA). Relazione annuale sullo stato dei servizi e sull'attività svolta. 2021 (downloadable from the website: https://www.arera.it/it/relaz_ann/21/21.htm, consulted on February 01, 2023).

AZA-MEDINA L.C., PALUMBO M., LACASTA A.M., GONZÁLEZ-LEZCANO R.A., *Characterization of the thermal behavior, mechanical resistance, and reaction to fire of totora (Schoenoplectus californicus (G.A. Mey.) Sojak) panels and their potential use as a sustainable construction material*. Journal of Building Engineering 2023, Vol. 69, 105984, doi.org/10.1016/j.jobe.2023.105984.

BAGLIVO C., CONGEDO P.M., MURRONE G., LEZZI D. *Long-term predictive energy analysis of a high-performance building in a mediterranean climate under climate change*. Energy 2022, Vol. 238, 121641, <https://doi.org/10.1016/j.energy.2021.121641>.

BANCA D'ITALIA, Sondaggio congiunturale sul mercato delle abitazioni in Italia. 2021 (downloadable from the website: <https://www.bancaditalia.it/pubblicazioni/sondaggio-abitazioni/>, consulted on February 01, 2023).

BARBALACE A., MASSIMO D.E., FRAGOMENI C., *Appraisal of thermal premium in green building practice at urban scale*. Aestimum 2012, special volume, pp. 325-341, doi:10.13128/Aestimum-10714, ISSN:1724-2118.

BARRECA F., FICHERA C.R., *Thermal Insulating Characteristics of Cork Agglomerate Panels in Sustainable Food Buildings*. In: 7th International Conference on Information and Communication Technologies in Agriculture, Food and Environment. HAICTA 2015, Kavala, Greece, pp. 358-366.

BARRECA F., FICHERA C.R., *Thermal Insulation Performance Assessment of Agglomerated Cork Boards*. Wood and Fiber Science 2016, Vol. 48 (2), pp. 96-103.

BARRECA F., TIRELLA V., *A self-built shelter in wood and agglomerated cork panels for temporary use in Mediterranean climate areas*. Energy and Buildings 2017, Vol. 142, pp. 1-7, doi.org/10.1016/j.enbuild.2017.03.003.

BARRECA F., GABARRON A.M., FLORES YEPES J.A., PASTOR PÉREZ J.J., *Innovative use of giant reed and cork residues for panels of buildings in Mediterranean area*. Resources, Conservation and Recycling 2019, Vol. 140, pp. 259-266, doi.org/10.1016/j.resconrec.2018.10.005.

BARRILE V., MALERBA A., FOTIA A., CALABRÒ F., BERNARDO C., MUSARELLA C., "Quarries renaturation by planting cork oaks and survey with UAV". In Bevilacqua C., Calabrò F., Della Spina L. (eds.) *New Metropolitan Perspectives*. Smart

innovation, systems and technologies, Vol. 178, pp 1310-1320, Springer 2021, Cham (Switzerland), doi:10.1007/978-3-030-48279-4_122.

BIM PORTALE. Digital construction. Termolog 13 (downloadable from the website: <https://www.bimportale.com/termolog-epix-10/>, consulted on February 01, 2023).

BLUMATICA, SOFTWARE. Edilizia e Sicurezza. Blumatica BIM ArchIT. (downloadable from the website: <https://www.blumatica.it/software-progettazione-architettura-secondo-gli-standard-ifc/>, consulted on February 01, 2023).

BOTTERO M., BRAVI M., DELL'ANNA F., MONDINI G., *Valuing buildings energy efficiency through Hedonic Prices Method: are spatial effects relevant?* Valori e Valutazioni 2018, Vol. 21, pp.28-39. ISSN: 2036-2404.

CALABRÒ F., *Integrated programming for the enhancement of minor historical centres. The SOSTEC model for the verification of the economic feasibility for the enhancement of unused public buildings*. ArcHistoR 2020, Vol. 13 (7), pp. 1509-1523, doi.org/10.14633/AHR280.

CALABRÒ F., CASSALIA G., LORÈ I., "A Project of Enhancement and Integrated Management: The Cultural Heritage Agency of Locride". In Calabrò F., Della Spina L., Piñeira Mantiñán M.J. (eds.), *New Metropolitan Perspectives, NMP 2022. Lecture Notes in Networks and Systems*, LNNS, Vol. 482, pp. 278-288. Springer Science and Business Media Deutschland GmbH 2022, doi: 10.1007/978-3-031-06825-6_27.

CALABRÒ F., MAFRICI F., MEDURI T., "The valuation of unused public buildings in support of policies for the inner areas. the application of sostec model in a case study in Condofuri (Reggio Calabria, Italy)". In Bevilacqua C., Calabrò F., Della Spina L. (eds.) *New Metropolitan Perspectives. Smart Innovation, Systems and Technologies*, SIST Vol. 178, pp. 566-579, Springer Science and Business Media Deutschland GmbH. 2021, doi.org/10.1007/978-3-030-48279-4_54.

CALABRÒ F., MASSIMO D.E., MUSOLINO M., "Measures to Face Population Decline of Small Villages: Sustainable and Integrated Energy Strategies for the Internal Areas". In *Water-Energy-Nexus in the Ecological Transition Natural-based Solutions, Advanced Technologies and Best Practices for Environmental Sustainability*, Naddeo V., Ho Choo K., Ksibi M., (eds), Springer, Cham (Switzerland), 2022, pp. 43-45, doi:10.1007/978-3-031-00808-5_11, ISBN:978-3-031-00808-5.

CERONSKY M., REVESZ R., KEOHANE N., CLEETUS R., CONVERY F., SCHWARTZ J., HOWARD P., STERNER T., JOHNSON L., WAGNER G., *Comments on the U.S. Social Cost of Carbon*. Columbia University Academic Commons, New York, USA, 2014.

CLARKSON R., DEYES K., *Estimating the Social Cost of Carbon Emissions*. Department of Environment, Food and Rural Affairs, London, UK, 2002.

CHAN M., The evidence is overwhelming: climate change endangers human health. Solutions exist and we need to act decisively to change this trajectory. 2015 (downloadable from the website: <https://www>.

who.int/news/item/06-10-2015-who-calls-for-urgent-action-to-protect-health-from-climate-change-sign-the-call, consulted on February 01, 2023).

CLINE A., What are some examples of non-fossil fuels? 2020 (downloadable from the website: <https://www.quora.com/What-are-some-examples-of-non-fossil-fuels>, consulted on February 01, 2023).

CRAWLEY D.B., LAWRIE L., WINKELMANN F.C., PEDERSEN C.O., *Energy Plus: New capabilities in a whole-building energy simulation program*. Build. Simul. 2001, Vol. 33, pp. 51-58.

CRESME RICERCHE. Centri storici e futuro del paese. Indagine nazionale sulla situazione dei Centri Storici del paese. ISBN: 978-88-94108-02-6. 2017 (downloadable from the website: <http://www.cresme.it/doc/rapporti/Centri-storici-e-futuro-del-Paese.pdf2>, consulted on February 01, 2023).

D'AGOSTINO D., CUNIBERTI B., BERTOLDI P., *Energy consumption and efficiency technology measures in European non-residential buildings*. Energy and Buildings 2017, Vol. 153, doi.org/10.1016/j.enbuild.2017.07.062.

D'AGOSTINO D., PARKER D., EPIFANI I., CRAWLEY D., LAWRIE L., *Datasets on Energy Simulations of Standard and Optimized Buildings under Current and Future Weather Conditions across Europe*. Data 2022, Vol. 7, p. 66, doi.org/10.3390/data7050066.

D'AGOSTINO D., PARKER D., EPIFANI I., CRAWLEY D.B., LAWRIE L., *How will future climate impact the design and performance of nearly zero energy buildings (NZEBs)?* Energy 2022, Vol. 240 122479, doi.org/10.1016/j.energy.2021.122479.

DE PAOLA P., DEL GIUDICE V., MASSIMO D.E., FORTE F., MUSOLINO M., MALERBA A., "Isovalore Maps for the Spatial Analysis of Real Estate Market: A Case Study for a Central Urban Area of Reggio Calabria, Italy". In Calabrò, F., Della Spina, L., Bevilacqua, C. (eds) *New Metropolitan Perspectives. Smart Innovation, Systems and Technologies*, Vol. 100, pp. 402-410, Springer 2019, Cham (Switzerland), doi:10.1007/978-3-319-92099-3_46.

DE PAOLA P., DEL GIUDICE V., MASSIMO D.E., DEL GIUDICE F.P., MUSOLINO M., MALERBA A., "Green Building Market Premium: Detection Through Spatial Analysis of Real Estate Values. A Case Study". In Bevilacqua C., Calabrò F., Della Spina L. (eds) *New Metropolitan Perspectives. Smart Innovation, Systems and Technologies*, vol 178, pp.1413-1422, Springer 2021, Cham (Switzerland), doi.org/10.1007/978-3-030-48279-4_132.

DEL GIUDICE V., DE PAOLA P., *Undivided real estate shares: Appraisal and interactions with capital markets*. Applied Mechanics and Materials, 2014, 584-586, pp. 2522-2527.

DEL GIUDICE V., MASSIMO D.E., DE PAOLA P., FORTE F., MUSOLINO M., MALERBA A., "Post Carbon City and Real Estate Market: Testing the Dataset of Reggio Calabria Market Using Spline Smoothing Semiparametric Method". In Calabrò, F., Della Spina, L., Bevilacqua, C. (eds) *New Metropolitan Perspectives. Smart Innovation, Systems and Technologies*, Vol. 100, pp. 206-214, Springer

2019, Cham (Switzerland), doi:10.1007/978-3-319-92099-3_25.

DEL GIUDICE V., MASSIMO D.E., DE PAOLA P., DEL GIUDICE F.P., MUSOLINO M., "Green Buildings for Post Carbon City: Determining Market Premium Using Spline Smoothing Semiparametric Method". In Bevilacqua C., Calabrò F., Della Spina L. (eds) *New Metropolitan Perspectives. Smart Innovation, Systems and Technologies*, Vol. 178, pp. 1227-1236. Springer 2021, Cham (Switzerland), doi.org/10.1007/978-3-030-48279-4_114.

DEL GIUDICE V., MASSIMO D.E., SALVO F., DE PAOLA P., DE RUGGIERO M., MUSOLINO M., "Market Price Premium for Green Buildings: A Review of Empirical Evidence. Case Study". In Bevilacqua C., Calabrò F., Della Spina L. (eds) *New Metropolitan Perspectives. Smart Innovation, System and Technologies*, Vol. 178, pp. 1237-1247. Springer 2021, Cham (Switzerland), dx.doi.org/10.1007/978-3-030-48279-4_115.

DESIGN BUILDER. Energy Plus Simulation. (downloadable from the website: <https://designbuilder.co.uk/35-support/tutorials/96-designbuilder-online-learning-materials>, consulted on February 01, 2023).

FABBRI K., TRONCHIN L., TARABUSI V., *Energy retrofit and economic evaluation priorities applied at an Italian case study*. Energy Procedia 2014, Vol. 45, pp. 379-384, doi:10.1016/j.egypro.2014.01.041.

FOLLESA S., ARMATO F., *L'abitare utopico (in cerca di nuove utopie)*. Narrare i gruppi 2022, Vol. 17 (1), pp. 27-38, ISSN: 2281-8960.

FREGONARA E., CURTO R., GROSSO M., MELLANO P., ROLANDO D., TULLIANI J.-M., *Environmental Technology, Materials Science, Architectural Design, and Real Estate Market Evaluation: A Multidisciplinary Approach for Energy-Efficient Buildings*. J. Urban Technol. 2013, Vol. 20, pp. 57-80, doi:10.1080/10630732.2013.855512.

FREGONARA E., LO VERSO V., LISA M., CALLEGARI G., *Retrofit Scenarios and Economic Sustainability. A Case-study in the Italian Context*. Energy Procedia 2017, pp. 245-255, ISSN: 1876-6102, doi:10.1016/j.egypro.2017.03.026.

GRIFFITHS C., KOPITS E., MARTEN A., MOORE C., NEWBOLD S., WOLVERTON A., *Estimating the "Social Cost of Carbon" for Regulatory Impact Analysis*. Resources for the Future: Weekly Policy Commentary, 2010.

HANEMANN M., *What is the Economic Cost of Climate Change?* UC-Berkeley, New Heaven, USA, 2009.

HOPKINS E.A., *An Exploration of Green Building Costs and Benefits: Searching for the Higher Ed Context*. Journal of Real Estate Literature 2016, Vol. 24, Issue 1, pp. 67-84, doi.org/10.1080/10835547.2016.12090424.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (IEA). CO₂ Emissions in 2022. 2023 (downloadable from the website: <https://www.iea.org/reports/co2-emissions-in-2022>, consulted on February 01, 2023).

INTORBIDA S., *La riqualificazione energetica integrata ed economicamente sostenibile. Strategie per la*

- valorizzazione del patrimonio edilizio pubblico e privato mediante la riqualificazione energetica architettonica-integrata e la relativa finanziabilità ad iso risorse. Legislazione Tecnica 2013, Rome, ISBN: 978-88-6219-160-9.
- KATS G., CAPITAL E., *The Costs and Financial Benefits of Green Buildings. A Report to California's Sustainable Building Task Force*, 2003. Sacramento, California, Usa.
- KATS G., CAPITAL E., *Greening America's Schools. Costs and Benefits*. A Capital E Report 2006, Washington, DC.
- KATS G., BRAMAN J., JAMES M.R., *Greening our Built World: Costs, Benefits, and Strategies*. Island Press 2010, Washington, DC, ISBN: 978-1597266680, doi.org/10.5860/choice.48-0678.
- KATS G., GLASSBROOK K., *Delivering Urban Resilience*. A Capital E Report 2018, Washington, DC.
- KRIER L., *Project for the place of Filadelfia in Calabria by Leon Krier. Projet pour la place de Filadelfia en Calabre par Le-on Krier*. Archives d'Architecture Moderne 1984, Vol. 26, pp. 102-107. Archives d'Architecture Moderne edition, 6 rue Paul Spaak, 1050 Bruxelles.
- LA RICCIA L., ASSUMMA V., BOTTERO M.C., DELL'ANNA F., VOGHERA A., *A Contingent Valuation-Based Method to Valuate Eco-system Services for a Proactive Planning and Management of Cork Oak Forests in Sardinia (Italy)*. Sustainability 2023, Vol. 15 (10), pp. 1-28, doi.org/10.3390/su15107986.
- LOGICAL SOFT. Termolog il software per la termotecnica (downloadable from the website: <https://www.logical.it/software-per-la-termotecnica>, consulted on February 01, 2023).
- MACNAUGHTON P., CAO X., BUONOCORE J., CEDENO-LAURENT J., SPENGLER J., BERNSTEIN A., ALLEN J., *Energy savings, emission reductions, and health co-benefits of the green building movement*. Journal of Exposure Science & Environmental Epidemiology. 2018, Vol. 28, pp. 307-318, doi.org/10.1038/s41370-017-0014-9.
- MALERBA A., MASSIMO D.E., MUSOLINO M., "Valuating Historic Centers to Save Planet Soil". In Mondini G., Fattinanzi E., Oppio A., Bottero M., Stanghellini S. (eds) *Integrated Evaluation for the Management of Contemporary Cities*. Green Energy and Technology, pp. 297-311, Springer 2018, Cham (Switzerland), ISBN: 978-3-319-78270-6, doi.org/10.1007/978-3-319-78271-3_24 1.
- MALERBA A., MASSIMO D.E., MUSOLINO M., NICOLETTI F., DE PAOLA P., "Post Carbon City: Building Valuation and Energy Performance Simulation Programs". In Calabrò F., Della Spina L., Bevilacqua C. (eds) *New Metropolitan Perspectives. Smart Innovation, Systems*, Vol. 101, pp. 513-521, Springer 2019, Cham (Switzerland), ISBN: 978-3-319-92101-3, ISSN: 2190-3018, doi: 10.1007/978-3-319-92102-0_54.
- MANGANELLI B., VONA M., DE PAOLA P. *Evaluating the cost and benefits of earthquake protection of buildings*. Journal of European Real Estate Research, 2018, 11(2), pp. 263-278.
- MANGANELLI B., MORANO P., TAJANI F., SALVO F. *Affordability Assessment of Energy-Efficient Building Construction in Italy*. Sustainability 2019, Vol. 11 (1), 249, doi.org/10.3390/su11010249.
- MARCHETTINI N., BREBBIA C., PULSELLI R.M., BASTIANONI S., *The Sustainable City IX: Urban Regeneration and Sustainability*. In Ninth International Conference on Urban Regeneration and Sustainability, Vol. 191, WIT Press 2014, Ashurst Lodge, Ashurst, Southampton, SO40 7AA, UK.
- MARCHI M., PULSELLI R.M., MARCHETTINI N., PULSELLI F.M., BASTIANONI S., *Carbon dioxide sequestration model of a vertical greenery system*. Ecological Modelling 2015, Vol. 306, pp. 46-56, dx.doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2014.08.013.
- MARCHI M., NICCOLUCCI V., PULSELLI R.M., MARCHETTINI N., *Urban sustainability: CO₂ uptake by green areas in the historic centre of Siena*. Int. J. of Design & Nature and Ecodynamics 2017, Vol. 12, No. 4, pp. 407-417, ISSN: 1755-7445, doi:10.2495/DNE-V12-N4-407-417.
- MARINO C., NUCARA A., PANZERA M.F., PIETRAFESA M., *Towards the nearly zero and the plus energy building: Primary energy balances and economic evaluations*. Thermal Science and Engineering Progress 2019, Vol. 13 (2), 100400, doi.org/10.1016/j.tsep.2019.100400.
- MARINO C., NUCARA A.F., PANZERA M.F., PIETRAFESA M., SURACI F., "From Condominium to Energy Community: Energy and Economic Advantages with Application to a Case Study". In Bevilacqua C., Calabrò F., Della Spina L. (eds) *New Metropolitan Perspectives. Smart Innovation, System and Technologies*, Vol 482, pp. 1804-1817. Springer 2022, Cham (Switzerland), doi:10.1007/978-3-031-06825-6_174.
- MASSIMO D.E., *Heritage conservation economics: A case study from Italy*. In Planning for Our Cultural Heritage, Coccossis, H., Nijkamp, P., (eds) Avebury Publisher, Aldershot (Uk) – Brookfield (usa) – Hong Kong – Singapore – Sydney (Au), 1995, pp. 171-189, ISBN:18-597-217-88.
- MASSIMO D.E., *Valuation of urban sustainability and building energy efficiency: a case study*. Int. J. Sustainable Development 2010, Vol. 12, pp. 223-247, Nos. 2/3/4, 2009, doi:10.1504/IJSD.2009.032779, ISSN:0960-1406.
- MASSIMO D.E., *Stima del green premium per la sostenibilità architettonica mediante Market Comparison Approach*. Valori Valutazioni 2011, Vol. 6, pp. 127-144.
- MASSIMO D.E., MUSOLINO M., BARBALACE A., *Stima degli effetti di localizzazioni universitarie sui prezzi immobiliari*. Aestimium 2012, Vol. 72, pp. 287-298, doi:10.13128/Aestimium-10712, ISSN:1724-2118.
- MASSIMO D.E., *Emerging issues in real estate appraisal: market premium for building sustainability*. Aestimium 2013, special volume, pp. 653-673, doi:10.13128/Aestimium-13171, ISSN:1724-2118.
- MASSIMO D.E., MUSOLINO M., *Mediterranean Urban Landscape. Integrated Strategies for Sustainable Retrofitting of Consolidated City*. In Society, Integration, Education. (eds) Utopias and dystopias in landscape and

cultural mosaic. Visions Values Vulnerability, Vol. III, pp. 49-60, Sabiedriba, Integracija, Izglitiba 2013, Lv, ISSN:1691-5887.

MASSIMO D.E., MUSOLINO M., BARBALACE A., FRAGOMENTI C., *Landscape and Comparative Valuation of Its Elements*. Agri-business, Paesaggio & Ambiente 2014, Vol. 17/2014 Special Issue 1, pp. 53-60, ISSN:2038-3371.

MASSIMO D.E., MUSOLINO M., BARBALACE A., FRAGOMENI C., *Landscape quality valuation for its preservation and treasuring*. Advanced Engineering Forum 2014, Vol. 11, pp. 625-633, doi.org/10.4028/www.scientific.net/AEF.11.625.

MASSIMO D.E., *Green building: characteristics, energy implications and environmental impacts. Case study in Reggio Calabria, Italy*. Green Building and Phase Change Materials: Characteristics, Energy Implications and Environmental Impacts 2015, Vol. 1, pp. 71-101. Coleman-Sanders, Mildred (ed): Nova Science Publisher, Inc. Hauppauge, New York, New York, Usa. ISBN: 978-1-63482-749-2.

MASSIMO D.E., FRAGOMENI C., MALERBA A., MUSOLINO M., "Valuation supports green university: case action at Mediterranean campus in Reggio Calabria". In Calabrò F., Della Spina L. (eds) *Strategic planning, spatial planning, economic programs and decision support tools, through the implementation of Horizon/Europe2020*. Procedia: Social & Behavioral Sciences, Vol. 223, pp. 17-24, Elsevier 2016, Amsterdam (NL), doi:10.1016/j.sbspro.2016.05.278, ISSN:1877-0428.

MASSIMO D.E., BEVILACQUA C., PIZZIMENTI P., MAIONE C., "4 years' project MAPS-LED Natura-Bases and Innovation-LED Urban Regeneration: A Hypothesis of Green District for the Metropolitan City of Reggio Calabria". In Trillo, C. (eds) *Shaping Tomorrow's Built Environment. "Four years involved in the HORIZON 2020" project MAPS-LED*, special issues, pp.1018-1029, University of Salford 2018, Manchester (Gb).

MASSIMO D.E., MUSOLINO M., FRAGOMENI C., MALERBA A., "A Green District to Save the Planet". In Mondini G., Fattinnanzi E., Oppio A., Bottero M., Stanghellini S. (eds) *Green Energy and Technology*, pp. 255-269, Springer 2018, 233 Spring Street, New York, NY 10013, ISBN: 978-3-319-78271-3, ISSN: 1865-3529. doi:10.1007/978-3-319-78271-3_21.

MASSIMO D.E., DEL GIUDICE V., DE PAOLA P., FORTE F., MUSOLINO M., MALERBA A., "Geographically Weighted Regression for the Post Carbon City and Real Estate Market Analysis: A Case Study". In Calabrò F., Della Spina L., Bevilacqua C. (eds) *New Metropolitan Perspectives. Smart Innovation, Systems and Technologies*, Vol. 100, pp. 142-149, Springer 2019, Cham (Switzerland), doi:10.1007/978-3-319-92102-3_17.

MASSIMO D.E., MUSOLINO M., MALERBA A., *Valuation to Foster-up Landscape Preservation. Treasuring New Elements through Landscape Planning*. ArcHistoR 2019, Vol. 6 (12), pp. 674-687, doi.org/10.14633/AHR190.

MASSIMO D.E., MUSOLINO M., MALERBA A., *Landscape, Sustainability, Accessibility Valuation*. Agribusiness,

Paesaggio & Ambiente 2020, Vol. XXIII (1), pp.1-8, ISSN:1594-784X.

MASSIMO D. E., DEL GIUDICE V., MALERBA A., BERNARDO C., MUSOLINO M., DE PAOLA P., *Valuation of ecological retrofitting technology in existing buildings: A real-world case study*. Sustainability 2021, Vol. 13 (13), 7001, pp. 1-35, ISSN: 2071-1050, doi: 10.3390/su13137001.

MASSIMO D. E., DE PAOLA P., MUSOLINO M., MALERBA A., DEL GIUDICE F.P., *Green and Gold Buildings? Detecting Real Estate Market Premium for Green Buildings through Evolutionary Polynomial Regression*. Buildings 2022, Vol. 12 (5), p. 621, doi.org/10.3390/buildings12050621.

MASSIMO D. E., DEL GIUDICE V., MUSOLINO M., DE PAOLA P., DEL GIUDICE F.P., "A Bio Ecological Prototype Green Building To-ward Solution of Energy Crisis". In Calabrò F., Della Spina L., Mantinan Pineira M. J. (eds) *New Metropolitan Perspectives. Lecture Notes in Networks and Systems*, Vol. 482, pp. 713-724, Springer 2022, Cham (Switzerland), doi.org/10.1007/978-3-031-06825-6_67.

MASSIMO D. E., DEL GIUDICE V., MUSOLINO M., DE PAOLA P., DEL GIUDICE F.P., "Green Building to Overcome Climate Change: The Support of Energy Simulation Programs in Gis Environment". In Calabrò, F., Della Spina, L., Pineira Mantinan, M.J. (eds) *New Metropolitan Perspectives. Lecture Notes in Networks and Systems*, Vol 482, pp. 725-734, Springer 2022, Cham (Switzerland), doi.org/10.1007/978-3-031-06825-6_68.

MINISTERO DELLA TRANSIZIONE ECOLOGICA. La situazione energetica nazionale nel 2020. 2021 (downloadable from the website: https://dgsaie.mise.gov.it/pub/sen/relazioni/relazione_annuale_situazione_energetica_nazionale_dati_2020.pdf, consulted on February 01, 2023).

MONETTI V., *Scalable dynamic simulation-based methodology for the energy retrofit of existing buildings*. Ph.D's Thesis, Politecnico di Torino, Torino Energy Department, 2015.

MORANO P., TAJANI F., GUARINI M.R., SICA F., *A Systematic Review of the Existing Literature for the evaluation of Sustainable Urban Projects*. Sustainability 2021, Vol. 13, 4782, doi:10.3390/su13094782.

MUSOLINO M., MASSIMO D.E., *Evaluation Models to Aid Choice of Investments Regarding Building Stocks in Mediterranean Urban Landscape*. Agribusiness Paesaggio & Ambiente 2019, Vol. XXII (1), pp. 74-80, ISBN:978-88-942329-0-5.

NAPOLI G., GABRIELLI L., BARBARO S., *The efficiency of the incentives for the public buildings energy retrofit. The case of the Italian Regions of the "Objective Convergence"*. Valori e Valutazioni 2017, Vol. 18, pp. 25-39, doi:10.3390/su12083460.

NESTICÒ A., PIPOLO O., *A protocol for sustainable building interventions: Financial analysis and environmental effects*. In. J. Bus. Intell. Data Min. 2015, Vol. 10, pp. 199-212, doi:10.1504/IJBIDM.2015.071325.

NESTICÒ A., MACCHIAROLI M., PIPOLO O., *Costs and Benefits*

in the Recovery of Historic Buildings: The Application of an Economic Model. Sustainability 2015, Vol. 7, pp. 14661-14676, doi:10.3390/su71114661.

NEW SCHOOL OF ARCHITECTURE & DESIGN, SAN DIEGO (CAL., USA). 10 Benefits of Green Building. (downloadable from the website: <https://newschoolarch.edu/blog/10-benefits-of-green-building/>, consulted on February 01 2023).

PULSELLI R.M., SIMONCINI E., MARCHETTINI N., *Energy and energy based cost-benefit evaluation of building envelopes relative to geographical location and climate*. Building and Environment 2009, Vol. 44, pp. 920-928, doi:10.1016/j.buildenv.2008.06.009.

PULSELLI R.M., BROERSMA S., MARTIN C.L., KEEFFE G., BASTIANONI S., VAN DEN DOBBELSTEEN A., *Future city visions. The energy transition towards carbon-neutrality: lessons learned from the case of Roeselare, Belgium*. Renewable and Sustainable Energy Reviews 2021, Vol. 137, 110612, doi.org/10.1016/j.rser.2020.110612.

RALLAPALLI, H.S., *A comparison of EnergyPlus and eQuest whole building energy simulation results for a medium sized office building*. Master's Thesis, Arizona State University, Tempe, AZ, USA, 2010.

RITCHIE H., ROSER M., ROSADO P., CO₂ and Greenhouse Gas Emissions. 2017 (downloadable from the website: <https://ourworldindata.org/team>, consulted on February 01, 2023).

RUGGERI A.G., GABRIELLI L., SCARPA M., *Energy Retrofit in European Building Portfolios: A Review of Five Key Aspects*. Sustainability 2020, Vol. 12, 7465, doi:10.3390/su12187465.

SHOSHANY M., SHAPIRA A., NIR-GOLDENBERG S., DE PAOLA P., *Progression of Greenway Corridors Through Conflict: Cellular Automata Simulation and AHP Evaluation*. Environmental Modeling & Assessment 2023, doi.org/10.1007/s10666-023-09901-5.

SOUSA J., *Energy simulation software for buildings: Review and comparison, 2012* (downloadable from the website: <https://www.semanticscholar.org/paper/Energy-Simulation-Software-for-Buildings-%3A-Revie-Sousa/b4b6593df77024a585b68d066bf2bd668838f852>, consulted on February 01, 2023).

SPAMPINATO G., MASSIMO D E., MUSARELLA C., DE PAOLA P., MALERBA A., MUSOLINO M., "Carbon sequestration by cork oak forests and raw material to built up post carbon city". In Bevilacqua C, Calabrò F, Della Spina L. (eds) *Smart innovation, systems and technologies. smart innovation, systems and technologies*, Vol. 101, p. 663-671, Springer 2019, Cham (Switzerland), ISBN: 978-3-319-92101-3, ISSN: 2190-3018, doi:10.1007/978-3-319-92102-0_72.

SPAMPINATO G., MALERBA A., CALABRÒ F., BERNARDO C.,

MUSARELLA C., "Cork oak forest spatial valuation toward post carbon city by CO₂ sequestration". In Bevilacqua C., Calabrò F., Della Spina L. (eds.) *New Metropolitan Perspectives. Smart innovation, systems and technologies*, Vol. 178, pp 1321-1331, Springer 2021, Cham (Switzerland), doi:10.1007/978-3-030-48279-4_123.

SPATARI G., LORÈ I., VIGLIANISI A., CALABRÒ F., "Economic Feasibility of an Integrated Program for the Enhancement of the Byzantine Heritage in the Aspromonte National Park. The Case of Staiti". In Calabrò F., Della Spina L., Piñeira Mantiñán M.J. (eds.) *New Metropolitan Perspectives. Lecture Notes in Networks and Systems*, Vol. 482, pp. 313 - 323, Springer Science and Business Media Deutschland GmbH 2022, doi:10.1007/978-3-031-06825-6_30.

STERN N., *The Economics of Climate Change. The Stern Review*. Cambridge University Press Cambridge, 2006, UK.

INTERAGENCY WORKING GROUP ON SOCIAL COST OF CARBON, UNITED STATES GOVERNMENT. *Technical Support Document: Technical Update of the Social Cost of Carbon for Regulatory Impact Analysis - Under Executive Order 12866*. Revised July 2015.

TAJANI F., MORANO P., DI LIDDO F., DOKO E., MARIA TORRE C., *An Evaluation Methodology for the Feasibility Analysis of Energy Retrofit Investments*. In International Conference on Computational Science and Its Applications. ICCSA 2022, Gervasi O., Murgante B., Misra S., Rocha Ana Maria A. C., Garau C. (eds) Springer Nature 2022, Cham (Switzerland), pp. 15-26, dx.doi.org/10.1007/978-3-031-10548-7.

TROVATO M.R., NOCERA F., GIUFFRIDA S., *Life-Cycle Assessment and Monetary Measurements for the Carbon Footprint Reduction of Public Buildings*. Sustainability 2020, Vol. 12, 3460, doi:10.3390/su12083460.

UN SECRETARIAT CLIMATE ACTION PLAN (UNSCAP). United Nations Secretariat Climate Action Plan 2020-2030. 2019 (downloadable from the website: <https://www.un.org/management/sites/www.un.org.management/files/united-nations-secretariat-climate-action-plan.pdf>, consulted on February 01 2023).

WATKISS P., ANTHOFF D., DOWNING T., ET AL., *The social costs of carbon (SCC) review: methodological approaches for using SCC estimates in policy assessment*. AEA Technology Environment, Department for Environment, Food and Rural Affairs, London, 2005.

WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION (WMO). The Melting of Cryosphere is Undeniable. 2022 (downloadable from the website: <https://public.wmo.int/en/resources/metoworld/melting-of-cryosphere-undeniable>, consulted online on February 01, 2023).

