

Life cycle analysis and planning in the renovation process of public housing

Luca Guardigli*, Marco Alvisè Bragadin, Annarita Ferrante,
Riccardo Gulli

Highlights

The main targets of the European research project named Pro-GET-onE are presented. LCA and LCC analyses show the economic and environmental convenience of the renovation approach versus demolition and reconstruction. The assessed scenarios outcomes foresee savings between 1 M€ and 3 M€ when choosing the renovation over the demolition and new construction option. The GWP of the pilot building in Athens is approximately 1000tons of Co_{2e} in a period of 50 years.

Abstract

The paper presents some preliminary outcomes of the European funded research project named Pro-GET-onE, in particular life cycle analysis and planning applied to the refurbishment of existing public housing. The project regards the renovation of residential buildings through seismic rehabilitation and energy retrofitting. LCA and LCC analyses are carried out to compare different solutions and evaluate the impact of renovation in relation to demolition and reconstruction. The first results of a pilot building in Athens prove the economic and environmental convenience of the renovation approach.

Keywords

Life cycle analysis, Life cycle cost, Building renovation, Seismic rehabilitation, Energy retrofitting

1. INTRODUCTION

Most of the interventions in the European building sector concern today the renovation – the refurbishment – of the existing patrimony. This is derived not only from the current urban policies on land preservation and valorisation of the built environment or from the present demographic stagnation, but also from the economic and functional practicability of such interventions.

All interventions are seen as an economic opportunity and a way to use buildings more safely, more comfortably and, in general, with more quality according to the current augmented needs [1]. According to the legislation, the interventions can be divided into shallow and deep renovations. While shallow renovations usually follow aesthetic purposes and are satisfied with

Luca Guardigli

DA - Dipartimento di Architettura,
Università di Bologna, viale
Risorgimento 2, Bologna, 40100,
Italia

Marco A. Bragadin

DA - Dipartimento di Architettura,
Università di Bologna, viale
Risorgimento 2, Bologna, 40100,
Italia

Annarita Ferrante

DA - Dipartimento di Architettura,
Università di Bologna, viale
Risorgimento 2, Bologna, 40100,
Italia

Riccardo Gulli

DA - Dipartimento di Architettura,
Università di Bologna, viale
Risorgimento 2, Bologna, 40100,
Italia

* Corresponding author
Tel.: +39-051-2093179;
fax: +39-051-2093156;
e-mail: luca.guardigli@unibo.it

simple improvements in respect to the previous levels [2], deep renovations lead to strong consequences on building performances, reaching the standard levels of new buildings. In Europe 1,2% of buildings is renovated each year, either softly or deeply [3]. Within this percentage the cases of deep renovation are still residual; in this respect the compliance to the regulation is considered a fundamental aspect, also for the purpose of increasing the real estate value of the buildings. Reaching the compliance level requires an implicit medium-long term vision: deep renovations are often carried out with expected payback times longer than 10 years, relying on the idea that the plus value of the building can compensate for the initial investment [4]. On the contrary, for little interventions – for instance, envelope insulation, windows or heat generators replacement – the payback time is decisive: only investments that provide an optimal cost and a moderately reduced payback time are taken into account.

According to the EPISCOPE research, funded by the European Union and conducted by the Turin Polytechnic over a period of twenty years up to 2012, about 10% of buildings in Piedmont has been the subject of intervention for environmental and energy purposes, but only 2% of this percentage concerns global renovations [5].

Interventions for the seismic safety of buildings, in the absence of clear and significant structural deficiencies, are even rarer, as they are expensive in terms of initial investment and considered not strictly necessary. For them it is not possible to think in terms of payback time and their economic convenience is not quantifiable, since it corresponds to potential damage to things and people with very long time forecasts.

Usually, the intentions of renovation by private individuals stop where the initial costs are excessive and not considered, in fact, unavoidable. From this point of view, public investments in strategic buildings should be definitely superior, to create a culture of safety and compensate for common reluctance. In some cases we talk about opportunity interventions, that is interventions that try to combine investments with low payback times – soft ones for energy purposes, for example – with investments in safety and prevention. In the perspective of public investment, for example in residential or school building, the analysis on costs and on environmental impacts during the life cycle of the buildings can support the planning of the recovery intervention. LCC or LCA type analysis allows to evaluate the effects of medium-long term technical choices in terms of economical and environmental impact [6].

This type of analysis has been carried out in the European project named Pro-GET-onE [7]. The project, coordinated by the University of Bologna,

1. INTRODUZIONE

Oggi in Europa la stragrande maggioranza degli interventi in ambito edilizio riguarda il recupero – la ristrutturazione e il rinnovamento – del patrimonio esistente. Questo fatto è dovuto non solo alle politiche urbane attente a ridurre il consumo di suolo e a valorizzare la conservazione del costruito o alla stagnazione demografica, ma anche alla praticabilità economica e funzionale di tali interventi. Tutti gli interventi sono visti come un'opportunità economica e un modo per vivere con maggiore sicurezza, maggior comfort e qualità in generale, secondo le aumentate esigenze degli utenti [1].

In base alla normativa gli interventi di rinnovamento si possono suddividere in leggeri (shallow) e pesanti (deep) – o importanti –. Mentre quelli leggeri seguono di solito fini estetici e si accontentano di livelli considerati semplicemente migliorativi dei livelli prestazionali precedenti [2], gli interventi pesanti (ristrutturazioni) hanno forti ricadute sulle prestazioni generali dell'immobile, raggiungendo i livelli normativi propri delle nuove costruzioni. Ogni anno in Europa l'1,2% degli edifici viene rinnovato in modo leggero o pesante [3]. Entro questa percentuale gli interventi di rinnovamento pesanti sono presenti in modo ancora residuale; in questo caso l'adeguamento alla norma è considerato un aspetto decisivo, anche ai fini dell'aumento del valore immobiliare della costruzione. Implicitamente l'azione di adeguamento sottintende infatti una visione a medio-lungo termine: le ristrutturazioni sono effettuate spesso con tempi di ritorno attesi superiori ai 10 anni, affidandosi all'idea che il plus valore dell'edificio possa compensare l'investimento iniziale [4]. Nel caso dei piccoli interventi – per esempio, la coibentazione dell'involucro con cappotto termico, la sostituzione degli infissi o dei generatori di calore – il tempo di ritorno è invece determinante: si tengono in considerazione solo gli investimenti che forniscono un costo ottimale e un tempo di ritorno moderatamente ridotto. In base alla ricerca EPISCOPE, finanziata dall'Unione europea e condotta dal Politecnico di Torino nell'arco di una ventina di anni fino al 2012, circa il 10% degli edifici del Piemonte è stato oggetto d'intervento a fini ambientali ed energetici, ma solo il 2% di questa percentuale riguarda ristrutturazioni globali [5].

Gli interventi di messa in sicurezza degli edifici dal punto di vista sismico, in assenza di chiare e significative carenze strutturali, sono ancora più rari, in quanto onerosi in termini di investimento iniziale e considerati non strettamente necessari. Per essi non si può ragionare in termini di tempo di ritorno e la loro convenienza economica non è quantificabile, poiché corrisponde a danni potenziali a cose e persone con previsione temporale lunghissima.

identifies a unified strategy for energy and structural redevelopment of social housing, with the objective of tackling together problems related to structural safety and nZE (nearly Zero Energy) retrofit, according to user priorities and expectations. Research-related activities started in May 2017 through the analysis of various case studies in Italy, Greece and Romania and will end in April 2021 with the conclusion of an actual intervention in Athens, for a cost of almost 2 million euros. The idea of the project is based on the integration of various technologies to achieve high performances in three areas:

1. energy requirements, adding new high-efficiency plug and play prefabricated enclosures and HVAC systems;
2. safety, using external structures to increase the overall structural capacity of the building, also housing the building components of the enclosure;
3. social sustainability, increasing the value of buildings and the desirability of retrofit options and providing customized solutions for users, owners and managers.

In the perspective of obtaining the maximum compatibility with existing buildings and the minimum possible invasiveness, the adopted strategy tends to increase the resistance of the building as a whole and operates locally on the remaining vulnerabilities, minimizing and/or avoiding non-profitable and extremely invasive interventions. To avoid an intervention of seismic improvement or adjustment on the existing structures which could keep people away from their homes for a long time, a system of external metal elements (Get System exoskeleton) is used, connected to the existing structure and appropriately sized, so as to reduce global movements to horizontal actions and contribute to the ductility of the building. The goal is to ensure a leap of at least one seismic class (Fig. 1).

The new structure, applied externally to the existing building, brings benefits from the construction site organization, since it does not require to carry out invasive operations. The installation also requires relatively low foundations. The joint between the existing reinforced concrete frame and the metal structure becomes an element of great importance for the system. The external structure hosts also the installations necessary for energy retrofitting and constitutes a design tool to increase solar gain [8] and improve the aesthetics of the façade, meeting expectations and requests of the users.

There are some European examples of technological solutions that include exoskeletons for the recovery of existing buildings: Tour Bois de la Prêtre in Paris by the architects Druot, Lacaton and Vassal, a condominium in Aalborg by Møller Architects and a tower in Winterthur, by Burkhalter Sumi Architekten. However, none of these interventions relates to structures capable

Spesso le intenzioni di ristrutturare da parte dei privati si arrestano laddove i costi iniziali sono eccessivi e ritenuti, appunto, non indispensabili. Da questo punto di vista, gli investimenti pubblici sugli edifici strategici dovrebbero essere decisamente superiori, per creare cultura della sicurezza e compensare le comuni riluttanze. In alcuni casi si parla di interventi che cercano di unire investimenti con tempi di ritorno bassi – quelli soft ai fini energetici, per esempio – agli investimenti sulla sicurezza e sulla prevenzione. Nella prospettiva di investimento pubblico, per esempio in edilizia residenziale o scolastica, l'analisi sui costi e sull'impatto ambientale nel ciclo di vita degli immobili può essere di supporto alla progettazione dell'intervento di recupero. L'analisi di tipo LCC o LCA permette di valutare gli effetti delle scelte tecniche a medio-lungo termine in termini d'impatto economico ambientale [6].

Questo tipo di analisi è stato applicato nel progetto europeo denominato Pro-GET-onE [7]. Il progetto, coordinato dall'Università di Bologna, individua una strategia unitaria di riqualificazione energetica e strutturale di social housing, avendo come obiettivo di affrontare assieme i problemi legati alla sicurezza strutturale e di retrofit nZE (nearly Zero Energy) sulla base delle priorità e delle aspettative degli utenti. Le attività legate alla ricerca sono iniziate nel maggio 2017 attraverso l'analisi di vari casi di studio in Italia, Grecia e Romania e termineranno nell'aprile del 2021 con la conclusione di un intervento ad Atene, per un costo di quasi 2 milioni di Euro. L'idea del progetto si basa sull'integrazione di varie tecnologie per ottenere prestazioni elevate in tre ambiti:

1. requisiti energetici, aggiungendo nuovi involucri prefabbricati plug and play ad alta efficienza energetica e sistemi HVAC;
2. sicurezza, utilizzando strutture esterne per aumentare la capacità strutturale complessiva dell'edificio, ospitando anche i componenti edilizi dell'involucro;
3. sostenibilità sociale, aumentando il valore degli edifici e la desiderabilità di opzioni di retrofit e fornendo soluzioni personalizzate per utenti, proprietari e gestori.

Nella prospettiva di ottenere la massima compatibilità con gli edifici esistenti e la minore invasività possibile, la strategia adottata tende ad aumentare la resistenza dell'edificio nel suo complesso ed opera localmente sulle vulnerabilità rimanenti, minimizzando e/o evitando interventi non convenienti ed estremamente invasivi. Per evitare un intervento di miglioramento o adeguamento sismico sulle strutture esistenti che potrebbe allontanare gli abitanti dai loro alloggi per lungo tempo, viene utilizzato un sistema di elementi metallici esterni (esoscheletro Get

of decreasing seismic vulnerability while hosting building components and installations to reduce energy consumption.

Regarding the energy aspect, more and more complete intervention strategies have been defined in Pro-GET-onE, in order to lower the demand from values above 100 kWh/m²a to progressive values of 90, 30, 10 and 5 kWh/m²a (Table 1).

System), collegato alla struttura esistente e opportunamente dimensionato, in modo da ridurre gli spostamenti globali alle azioni orizzontali e contribuire alla duttilità dell'edificio. L'obiettivo è di assicurare un salto di almeno una classe sismica (Fig. 1).

La nuova struttura, applicata esternamente all'esistente, porta benefici all'organizzazione del cantiere, poiché non richiede

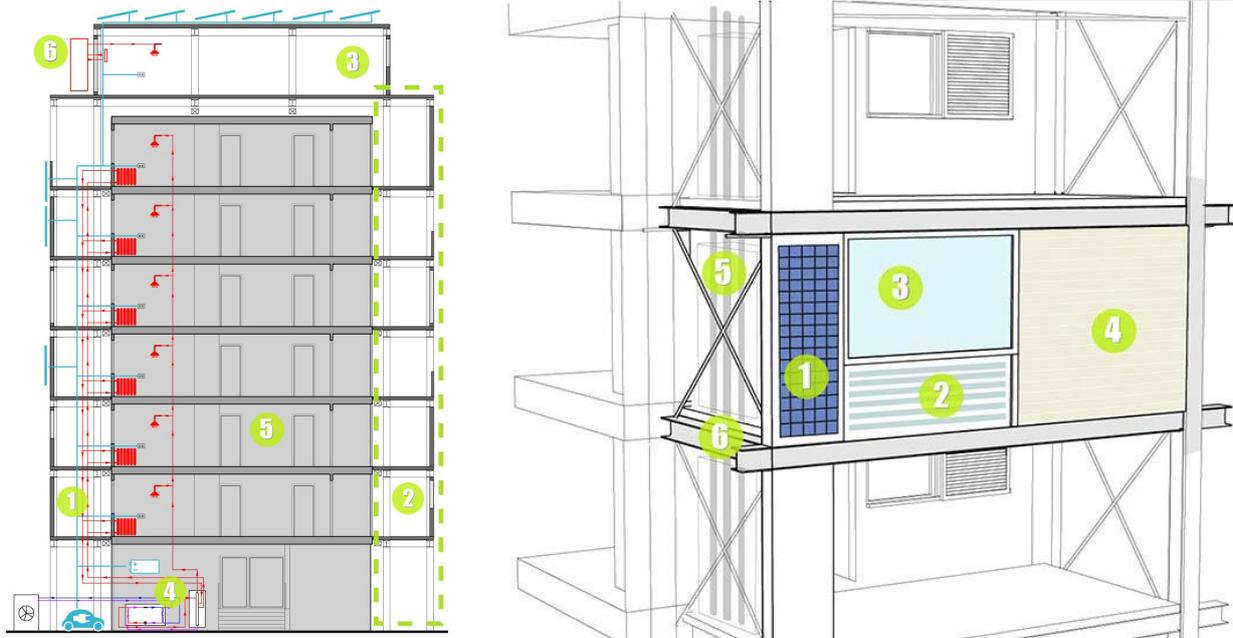


Figure 1. Pro-Get-onE, section of the preliminary project with the expansion of the surfaces and detail of the modular system with plant and casing devices. On the left: 1. Distribution system; 2. Expansion of the facade (Get System); 3. Raise; 4. Centralized generation system; 5. Air-conditioned space; 6. Plant system. Right: 1. Photovoltaic surface; 2. Opaque envelope; 3. Transparent envelope; 4. Flexible façade system; 5. Housing system installation; 6. Main supporting structure.

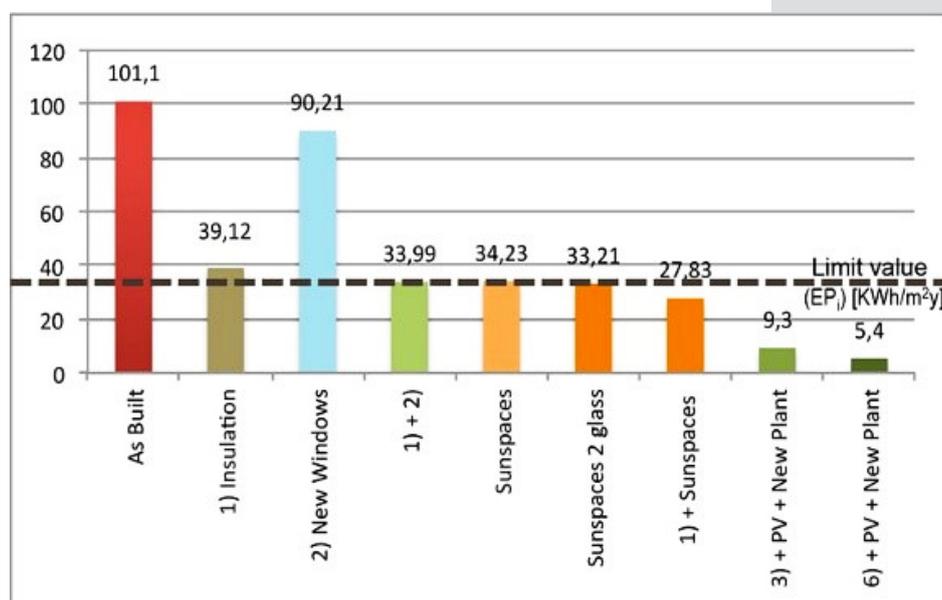


Table 1. Variation in the energy performance index for winter air conditioning in relation to progressive types of intervention: insulation (1), new windows (2), added sunspaces, i.e. solar greenhouses (3), insulation + sunspaces (6).

2. STATE OF THE ART

In the recovery of a public good such as social housing, the life cycle of a building can be planned, prefigured, or in any case analyzed, considering the costs (LCCA, Life Cycle Cost Analysis) and, in general, the environmental impacts (Life Cycle Analysis) [9] [10]. In fact, through the use of some economic indicators, life cycle planning allows to compare different strategies and design solutions for recovery purposes (ISO 15686-1: 2011 - Buildings and constructed assets - Service life planning - Part 1: General principles and framework). The design alternatives and the resulting costs are assessed in relation to the construction, operation, maintenance and final disposal. The life cycle project, or for durability, must provide sufficient evidence that the useful life after the intervention can have a duration at least equal to that required by the internal and external regulations, reducing operating costs and facilitating maintenance [11].

The costs are added up in the study period and converted into the current value to be used as a decision parameter. As is well known, the useful life is the period of time after the installation/construction of a component, a product, or an entire building, during which the required performance requirements are satisfied. The useful life span depends on various factors such as the environmental exposure, the performance of the components in the expected conditions, the quality of construction, components and materials, the relational quality between elements and the conditions of use and maintenance [12] [13]. The following phases are included in the life cycle study, with data on impacts and costs (UNI 15804, UNI EN 15978):

- a) The production phase of materials and components (A1-A3);
- b) The construction phase of the building system (A4-A5);
- c) The use phase of the building (B1-B7);
- d) The end-of-life phase (C1-C4).

It is often difficult to acquire data for a specific building; the ISO 15686-1 standard suggests to acquire them from real data from similar buildings, from analysis like the factorial method or from short-term accelerated exposure tests.

The Life Cycle Cost Analysis method for calculating the energy performance of buildings based on costs was introduced with the 2010/31/EU Energy Performance Building Directive (EPBD) and related regulation 2012/244/EU, which provides for application of the Global Cost method. The definition of the concept of Global Cost is not unique; EN 15459 is generically based on the costs related to construction in the life cycle.

l'esecuzione di operazioni invasive. La messa in opera necessita inoltre di fondazioni relativamente ridotte. Elemento di grande importanza per il sistema è il giunto tra il telaio esistente in calcestruzzo armato e la struttura metallica. La struttura esterna ospita anche i sistemi impiantistici necessari per la riqualificazione energetica e costituisce uno strumento progettuale per aumentare il guadagno solare [8] e migliorare l'estetica della facciata, soddisfacendo le aspettative e le richieste degli utenti.

Esistono alcuni esempi europei di soluzioni tecnologiche che prevedono degli esoscheletri per il recupero di edifici esistenti: la Tour Bois de la Prêtre a Parigi, degli architetti Druot, Lacaton e Vassal, un condominio ad Aalborg di Møller Architects e una torre a Winterthur, di Burkhalter Sumi Architekten. Nessuno di questi interventi riguarda tuttavia strutture in grado di ridurre la vulnerabilità sismica degli edifici ospitando nello stesso tempo componenti edilizi e impianti per diminuire i consumi energetici.

Per quanto riguarda l'aspetto energetico sono state definite strategie d'intervento sempre più complete, in modo da abbassare il fabbisogno per il riscaldamento invernale da valori superiori a 100 kWh/m²a a valori progressivi di 90, 30, 10 e 5 kWh/m²a (Tab.1).

2. STATO DELL'ARTE

Nel recupero di un bene pubblico come l'edilizia sociale, il ciclo di vita di un edificio può in un certo senso essere pianificato, progettato, o comunque analizzato, considerando i costi (LCCA, Life Cycle Cost Analysis) e, in generale, gli impatti ambientali (Life Cycle Analysis) [8] [9]. Tramite l'uso di alcuni indicatori economici la progettazione del ciclo di vita può infatti consentire la comparazione di diverse strategie e soluzioni progettuali ai fini del recupero (ISO 15686-1: 2011 - Buildings and constructed assets - Service life planning - Part 1: General principles and framework). Le alternative progettuali e i costi che ne derivano sono valutati in relazione alla costruzione, all'esercizio, alla manutenzione e alla dismissione finale. Il progetto del ciclo di vita, o per la durabilità, deve fornire sufficiente evidenza che la vita utile dopo l'intervento possa avere una durata almeno pari a quella richiesta dalla normativa interna ed esterna, riducendo i costi di esercizio e facilitando la manutenzione [10]. I costi sono sommati nel periodo di studio e convertiti nel valore attuale per essere utilizzati come parametro decisionale. Come noto, la vita utile è il periodo di tempo dopo l'installazione/costruzione di un componente, di un prodotto, o di un intero edificio, durante il quale rimangono soddisfatti i requisiti prestazionali richiesti. La durata della vita utile è di difficile previsione e dipende da vari fattori come l'esposizione ambientale, la

In reality, this is a slightly different definition from that given by ISO 15686-5: 2008, which defines the global cost of a building system as a “Whole-Life Cost” (WLC), that is, total cost that takes into account all significant and relevant costs, including benefits and non-construction costs/profits such as financial costs, sales and rental income, usage costs and external costs [14]. If the analysis is carried out at a financial level, there are no substantial differences between the two standards, since the costs are paid only to the owner of the building, but if it is carried out at a macroeconomic level, the EU regulation, with the guidelines of the attached document 2102/C 115/01, adds the category of the cost of greenhouse gas emissions, i.e. also evaluates the effects on the community. The cost of greenhouse gas emissions is the cost of monetary value of environmental damage caused by CO₂ emissions related to energy consumption in buildings during the analysis period. In this regard the scientific literature is consolidated [15].

The reduction of energy costs in the period of use is crucial in validating the quality of the recovery intervention. In general, a standard energy retrofitting operation on opaque walls (thermal insulation), associated with the replacement of energy generators with more efficient machines, when accompanied by tax deductions, generally has relatively short return times, not exceeding 10 years [16].

The Life Cycle Assessment is an action that is completely parallel and integrated with respect to the LCC analysis, evaluating inputs, outputs and potential environmental impacts of a product system during its life cycle, or the consecutive and related phases of such a product, from the acquisition of raw materials or from generation from natural resources to final disposal. Life cycle assessment consists of four phases established by the standards (ISO 14040: 2006): definition of the objectives and boundaries of the system; inventory analysis; impact assessment; interpretation of the results. In defining the objectives of an LCA analysis in the context of building recovery, the convenience of the retrofitting action can be compared with that of demolition and reconstruction. If it is true that a reconstructed building will eventually perform better than the previous one – for example in the energy consumption during the use phase – it is also true that demolition is carried out only with completely obsolete and uninhabited buildings.

According to some authors [17], in the long run (20-30 years) the operation of demolition and reconstruction could become more convenient, in terms of LCA and LCC, in the event that a complex action to recycle existing materials is undertaken and counted and the new building, with the same functions, is decidedly more efficient than the previous one in terms of energy.

prestazione del componente nelle condizioni previste, la qualità della costruzione, dei componenti e dei materiali, la qualità relazionale tra gli elementi e le condizioni di uso e di manutenzione [11] [12]. Nello studio del ciclo di vita sono incluse le seguenti fasi, con dati relativi a impatti e costi (UNI 15804, UNI EN 15978):

- a) La fase di produzione dei materiali e dei componenti (A1-A3);*
- b) La fase di costruzione del sistema edificio (A4-A5);*
- c) La fase d'uso dell'edificio (B1-B7);*
- d) La fase di fine vita (C1-C4).*

Si tratta spesso di dati di difficile acquisizione per uno specifico edificio; la norma ISO 15686-1 propone di acquisirli da dati reali di edifici simili, da analisi come il metodo fattoriale o da test di esposizione accelerata a breve termine.

Il metodo del Life Cycle Cost Analysis per il calcolo della prestazione energetica degli edifici in funzione dei costi è stato introdotto con la direttiva 2010/31/UE Energy Performance Building Directive (EPBD) e del relativo regolamento 2012/244/UE, che prevede l'applicazione del metodo del Costo Globale. La definizione del concetto di Costo Globale non è univoca; la norma EN 15459 si basa genericamente sui costi legati alla costruzione nel ciclo di vita. Si tratta, in realtà, di una definizione leggermente differente da quella data dalla ISO 15686-5:2008, che definisce il costo globale di un sistema edificio come “Whole-Life Cost” (WLC), cioè costo complessivo che tiene conto di tutti i costi significativi e rilevanti, inclusi i benefit e i costi/profitti non legati alla costruzione come i costi finanziari, i redditi da vendite e affitti, i costi di uso e i costi esterni [13]. Se l'analisi è svolta a livello finanziario non ci sono sostanziali differenze tra le due norme, poiché i costi si riversano solo sul proprietario dell'edificio, ma se è svolta a livello macroeconomico il regolamento Ue, con gli orientamenti del documento allegato 2102/C 115/01, aggiunge la categoria del costo delle emissioni di gas ad effetto serra, cioè valuta anche le ricadute sulla comunità. Il costo delle emissioni di gas ad effetto serra è il costo del valore monetario del danno ambientale causato dalle emissioni di CO₂, relativo al consumo di energia negli edifici nel periodo di analisi. La letteratura scientifica è consolidata a riguardo [14]. La riduzione dei costi energetici nel periodo d'uso è determinante nel validare la bontà dell'intervento di recupero.

Un intervento standard di retrofitting energetico sulle pareti opache (cappotto termico), associato alla sostituzione dei generatori di energia con macchine più efficienti, qualora accompagnato da detrazioni fiscali, ha in genere tempi di ritorno relativamente ridotti, non superiori ai 10 anni [15].

Il Life Cycle Assessment è un'azione

The Life Cycle Inventory Analysis (LCI) is the fundamental part of the LCA, and is defined by the ISO 14040 standard as the quantification of incoming and outgoing flows across the system boundaries defined in the objectives. The purpose of the inventory analysis is to analyze a series of elements for each phase of the production process and of the life cycle: renewable primary and non-renewable energy (MJ), electricity (counted according to the national energy mix), consumption of non-renewable and renewable fuel resources, non-renewable and renewable resources (raw materials), recycled resources (secondary raw materials), water consumption, soil consumption, emissions into the air, emissions into water, solid waste.

The data collected in the inventory are then analyzed to quantify the environmental impacts. The LCA method generally considers the following three categories of impacts: human health, ecosystem quality and resource consumption. The evaluation of environmental impacts is based on weighing the elements quantified by the analysis with the aim of highlighting the actions of a substance on the environment or on humans. Thereby we pass from the objective data (quantity) calculated in the inventory to a judgment of environmental hazard and potential damage. Weighing determines the importance of the individual effects of the components analyzed on the environment. The LCC and LCA methods can be integrated [18] [19]. Their integration offers a wider and more reliable panorama of indicators to make planning choices for the life cycle of the building subject to shallow or deep renovation.

3. METHODOLOGY

LCA and LCC analyses were carried out considering the impacts of the various components of the Pro-GET-onE building in Athens: external insulation, new additions (modular façades), new heat pumps (Clivet ELFOPack), VMC (Savio Aircare ES) and photovoltaic panels (Anerdgy Multifunctional Roof Edge). The LCC and LCA study is being continuously updated, as it proceeds with the definition of the construction documents.

The inventories (LCI) have been built at a higher level by an Excel file, and a more specific level through the OpenLCA software, by including datasets from Ecoinvent database. For most of the materials, the inventory analyses of building components were built with Ecoinvent database. When a material or its equivalent was inexistent in this database, the information was retrieved from scientific papers. Since reference databases and literature have supported the study in this phase, the environmental study is not fully in line with the corresponding ISO standards yet.

del tutto parallela e integrata rispetto all'analisi LCC, valutando input, output e potenziali impatti ambientali di un sistema di prodotto durante il suo ciclo di vita, ovvero delle fasi consecutive e relazionate di tale prodotto, dall'acquisizione dei materiali grezzi o dalla generazione a partire dalle risorse naturali fino alla dismissione finale. La valutazione del ciclo di vita si compone di quattro fasi stabilite dalle norme (ISO 14040:2006): definizione degli obiettivi e dei confini del sistema; analisi dell'inventario; valutazione di impatto; interpretazione dei risultati. Nella definizione degli obiettivi di un'analisi LCA nell'ambito del recupero edilizio, si può comparare la convenienza dell'azione di retrofitting rispetto a quella di demolizione e ricostruzione. Se è vero che un edificio ricostruito risulterà alla fine più performante di quello precedente – per esempio nel consumo energetico in fase d'uso –, è anche vero che solo con edifici del tutto obsoleti e non abitati si procede alla demolizione. Nel caso di studio presentato l'edificio è abitato e non è in discussione la permanenza degli abitanti in loco. Anzi, la necessità di tale permanenza è determinante nel preferire il recupero alla dismissione. Secondo alcuni autori [16], l'operazione di demolizione e ricostruzione potrebbe diventare nel lungo periodo (20-30 anni) più conveniente, in termini di LCA e LCC, nel caso in cui fosse intrapresa e conteggiata un'azione complessa di riciclo dei materiali esistenti e il nuovo edificio, a parità di funzioni, risultasse decisamente più performante del precedente in termini energetici.

L'analisi di inventario, Life Cycle Inventory Analysis (LCI), è la parte fondamentale del LCA, ed è definita dalla norma ISO 14040 come la quantificazione dei flussi in entrata e in uscita dai confini del sistema definiti negli obiettivi. Lo scopo dell'analisi di inventario è quello di analizzare una serie di elementi per ogni fase del processo produttivo e del ciclo di vita: energia primaria (MJ) rinnovabile e non rinnovabile, energia elettrica (conteggiata in base al mix energetico nazionale), consumo di risorse combustibili non rinnovabili e rinnovabili, risorse (materie prime) non rinnovabili e rinnovabili, risorse (materie prime seconde) riciclate, consumo di acqua, consumo di suolo, emissioni in aria, emissioni in acqua, rifiuti solidi.

I dati raccolti nell'inventario sono poi analizzati per quantificare gli impatti ambientali. Il metodo LCA in genere considera i seguenti tre impatti: la salute umana, la qualità degli ecosistemi ed il consumo di risorse. La valutazione degli impatti ambientali è basata su una pesatura degli elementi quantificati dall'analisi con lo scopo di evidenziare le azioni di una sostanza sull'ambiente o sull'uomo. Con ciò si passa dal dato oggettivo (quantità) calcolato nell'inventario a un giudizio di pericolosità ambientale

The scope of the performed assessment was cradle to grave. For the specific studies per product or element, the operational phase and part of the deconstruction were not included, because data are depending on other building components and it is not possible to disaggregate them. The operational phase was limited to the whole building approach and the PV systems. The selected impact assessment was the method ReCiPe 1.11 (Dec 2014) Midpoint Hierarchist, even if the focus has been put on the Global Warming Potential category (GWP) [20]. Firstly, some partial studies were performed; in fact, the environmental assessment has followed the iterative steps considered in the ISO standards. The Functional Unit (FU) was specific for each assessment. The alternatives were the following: steel or aluminium for the exoskeleton, aluminium or wooden elements for the façade panels, various options for thermal insulation.

Two different scenarios have been modelled in order to better evaluate the environmental impact and to provide guidance on the selection of the most appropriate material for the exoskeleton:

1. aluminium exoskeleton: whole structure – pillars, beams, connections, braces – and slabs made from aluminium;
2. steel exoskeleton: whole structure – pillars, beams, connections, braces – from steel and slabs made from aluminium as in the previous case.

Two scenarios for the modular façade were assessed from cradle to grave. The baseline case is composed by an aluminium cassette, two aluminium perforated plates, a layer of cross-laminated timber (CLT) and an aluminium profile, according to the solution proposed by the consortium (Fig. 2). The alternative combination comprises a layer of CLT as internal cladding, a layer of outdoor plywood, two panels of gypsum and a profile of glued-laminated timber (glulam). The functional unit for the environmental assessment of both solutions is a sample of 1 m² of the sequence of layers.

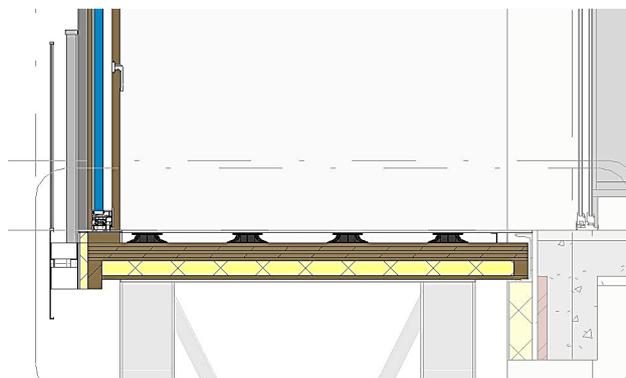


Figure 2. Floor unit: timber slabs pinned to two lateral steel profiles to be fixed to the steel frame.



Figure 3. Pilot case in Athens before intervention.

e di danno potenziale. La pesatura determina l'importanza dei singoli effetti dei componenti analizzati sull'ambiente. I metodi LCC e LCA possono essere integrati [17] [18]. La loro integrazione offre un panorama di indicatori più ampio e affidabile per compiere scelte di pianificazione del ciclo di vita dell'edificio oggetto di recupero leggero o pesante.

3. METODOLOGIA

Le analisi LCA e LCC sono state svolte sulle soluzioni tecnologiche dell'edificio Pro-GET-onE di Atene, considerando l'isolamento esterno, le nuove addizioni (facciate modulari), nuove pompe di calore (Clivet ELFOPack), VMC (Savio Aircare ES) e pannelli fotovoltaici (Anerdgy Multifunctional Roof Edge). Lo studio LCC e LCA è in continuo aggiornamento, in quanto procede con la definizione del progetto esecutivo.

Gli inventari (LCI) sono stati creati a un livello superiore da un file Excel e ad un livello più specifico attraverso il software OpenLCA, includendo set di dati dal database Ecoinvent. Per la maggior parte dei materiali, le analisi dell'inventario dei componenti dell'edificio sono state costruite con il database Ecoinvent. Quando un materiale o il suo equivalente era inesistente in questo database, le informazioni sono state recuperate da articoli scientifici. Poiché i database di riferimento e la letteratura hanno supportato lo studio in questa fase, lo studio ambientale non è ancora del tutto in linea con i corrispondenti standard ISO.

Lo scopo della valutazione eseguita è stato dalla culla alla tomba. Per gli studi specifici per prodotto o elemento, la fase operativa e parte della decostruzione non sono state incluse, poiché i dati dipendono da altri componenti dell'edificio e non è possibile disaggregarli. La fase operativa è stata limitata all'approccio relativo all'intero edificio e ai sistemi fotovoltaici. La valutazione d'impatto selezionata è stata il metodo ReCiPe 1.11

The assessment has been done with two parallel goals: suggesting improvements for the providers and supplying in-hand data for the whole building assessment.

Concerning the lifecycle costing assessment, the analysis was directed by two main goals: to identify the most impactful cost categories, allowing strategies to decrease or control the costs; to point out the advantages of investing in renovating a building when compared with the possibility of demolition and reconstruction following the guidelines of a seismic-resistant and nearly Zero Energy Building (nZEB). A dedicated LCC tool has been developed in the framework of the project using an Excel spreadsheet supported by macros, which considers the main cost categories indicated in the reference standards (ISO 15686-5 and EN 15459) and in the EU Directive 2014/24/EU. This tool includes the main influencing parameters (related to the building, the energy use, financial aspects and other), in order to obtain a high number of results according to different scenarios. Critical parameters are: energy price escalation, discount rate, steel exoskeleton investment (which accounts for 16% of construction costs), building life-time. According to ISO 15686-5, the results were given using the Net Present Value (NPV) calculation.

The sensitivity analysis is one of the techniques suggested by the standard ISO 15686-5 to indicate the uncertainty and risk associated to the LCC analysis. The parameters considered for the sensitivity analysis were the period of the analysis, the real discount rate, the inflation rate, process variation and energy price escalation. The periods of analysis were chosen according to literature values and own experience. The real discount rate, the inflation rate and the energy price variation were based on data collected from Eurostat. The range of prices variation was based on the examination of market values and own experience.

4. RESULTS

Regarding the comparison between the aluminium structure and the steel structure, the results indicate that the exoskeleton made in aluminium results more impacting in all the categories excepting one, with an important difference in the Climate Change category. The wood fibre insulation appears to be the most advantageous option in terms of GWP. As for the façade panels, flooring options and windows, partial results indicate that wooden solutions are the most favourable. GWP for the wooden windows is 68312.7 kg CO_{2e}, compared to 286667 kg CO_{2e} for the aluminium windows.

With regard to the energy systems, the PV system from Anergdy is very competitive in terms of GWP compared to existing studies. For one MRE

(dic 2014), Midpoint Hierarchist, anche se l'attenzione è stata posta sulla categoria del potenziale di riscaldamento globale (GWP) [19]. Innanzitutto, sono stati condotti alcuni studi parziali; la valutazione ambientale ha seguito infatti i passaggi iterativi considerati negli standard ISO. L'unità funzionale (FU) era specifica per ciascuna valutazione. Le alternative erano le seguenti: acciaio o alluminio per l'esoscheletro, elementi in alluminio o legno per i pannelli della facciata, varie opzioni di isolamento termico. Sono stati modellati due diversi scenari per valutare meglio l'impatto ambientale e fornire indicazioni sulla selezione del materiale più appropriato per l'esoscheletro:

- 1. esoscheletro in alluminio: struttura intera - pilastri, travi, connessioni, controventi - e lastre in alluminio.*
- 2. esoscheletro in acciaio: struttura intera - pilastri, travi, connessioni, controventi - in acciaio e lastre in alluminio come nel caso precedente.*

Sono stati valutati due scenari dalla culla alla tomba per la facciata modulare. La soluzione base è composta da una scatola in alluminio, due piastre perforate in alluminio, uno strato di legno a strati incrociati (CLT) e un profilo in alluminio, secondo la soluzione proposta dal consorzio (Fig. 2). La combinazione alternativa comprende uno strato di CLT come rivestimento interno, uno strato di compensato per esterni, due pannelli di cartongesso e un profilo di legno lamellare (glulam). L'unità funzionale per la valutazione ambientale di entrambe le soluzioni è un campione di 1 m² della sequenza di strati. La valutazione è stata effettuata con due obiettivi paralleli: suggerire miglioramenti per i fornitori di componenti e fornire dati disponibili per la valutazione dell'intero edificio.

Per quanto riguarda la valutazione dei costi del ciclo di vita, l'analisi è stata diretta secondo due obiettivi principali: identificare le categorie di costo più impattive dal punto di vista dei prezzi, consentendo possibili strategie di riduzione e controllo dei costi; sottolineare i vantaggi di investire nel rinnovamento di un edificio rispetto alla possibilità di demolizione e ricostruzione seguendo le linee guida di un edificio antisismico e a energia quasi zero (nZEB). Nel quadro del progetto è stato sviluppato uno strumento LCC dedicato utilizzando un foglio di calcolo Excel supportato da macro, che considera le principali categorie di costo indicate nelle norme di riferimento (ISO 15686-5 e EN 15459) e nella Direttiva UE 2014/24 / UNIONE EUROPEA. Questo strumento include i principali parametri di influenza (relativi all'edificio, al consumo di energia, agli aspetti finanziari e altro), al fine di ottenere un elevato numero di risultati in base a diversi scenari. I parametri critici sono: aumento del prezzo dell'energia, tasso di sconto, investimento di esoscheletro in acciaio (che rappresenta il 16%

C05 PV module, the GWP of baseline scenario (cradle-to-grave with world origin) is 233 kgCO_{2e}, much below the GWP of 2095 kgCO_{2e} cradle-to-grave scenario due to the positive impact of renewable electricity production throughout a lifetime of 30 years. Ventilation system designed by Savio is already well optimized and little improvement margin is left. Finally, the heat pump Elfopack has a weak point because of the refrigerant, that is having a great influence on the overall environmental performance of the product.

In general terms, the whole GET-renovation in Athens has an estimated GWP of 1000 tons of CO_{2e} for a period of 100 years, whereas for a period of 50 years it is around 700 tons of CO_{2e}. The windows, the exoskeleton and the PV installation are the most impacting components of the GET-System. Wooden windows are recommended to reduce the impact. For a period of analysis of 50 years, the exoskeleton is by difference the most impacting component of the GET-System (Table 2). Dividing by the usable area of the building, the average value of 1000 kg CO_{2e}/m² for a cradle-to-grave approach appears to be a realistic assumption for the current comparison, although other studies give lower values.

For the whole building assessment, the baseline scenario is the demolition and construction of a new building with the same safety and energy performances. The whole building assessment shows that the GET-renovation scenario is clearly impacting much less CO_{2e} emissions than demolition and new built, and even less in the case of maintaining the building almost as it is.

dei costi di costruzione), durata della vita dell'edificio. Secondo la norma ISO 15686-5, i risultati sono stati forniti utilizzando il calcolo del valore attuale netto (VAN).

L'analisi di sensibilità è una delle tecniche suggerite dalla norma ISO 15686-5 per indicare l'incertezza e il rischio associati all'analisi LCC. I parametri considerati per l'analisi di sensibilità sono il periodo dell'analisi, il tasso di sconto reale, il tasso di inflazione, la variazione del processo, l'escalation del prezzo dell'energia. I periodi di analisi sono stati scelti in base ai valori della letteratura e alla propria esperienza. Il tasso di sconto reale, il tasso di inflazione e la variazione del prezzo dell'energia si basano sui dati raccolti da Eurostat. La gamma di variazione dei prezzi si basa sull'esame dei valori di mercato e sulla propria esperienza.

4. RISULTATI

Per quanto riguarda il confronto tra la struttura in alluminio e la struttura in acciaio, i risultati indicano che l'exoscheletro realizzato in alluminio risulta più impattante in tutte le categorie tranne una, con un'importante differenza nella categoria Climate Change. L'isolamento in fibra di legno sembra essere l'opzione più vantaggiosa in termini di GWP. Per quanto riguarda i pannelli di facciata, le opzioni di pavimentazione e le finestre, i risultati parziali indicano che le soluzioni in legno sono le più favorevoli. Il GWP per le finestre in legno è 68312,7 kg di CO_{2e}, rispetto ai 286667 kg di CO_{2e} per le finestre in alluminio.

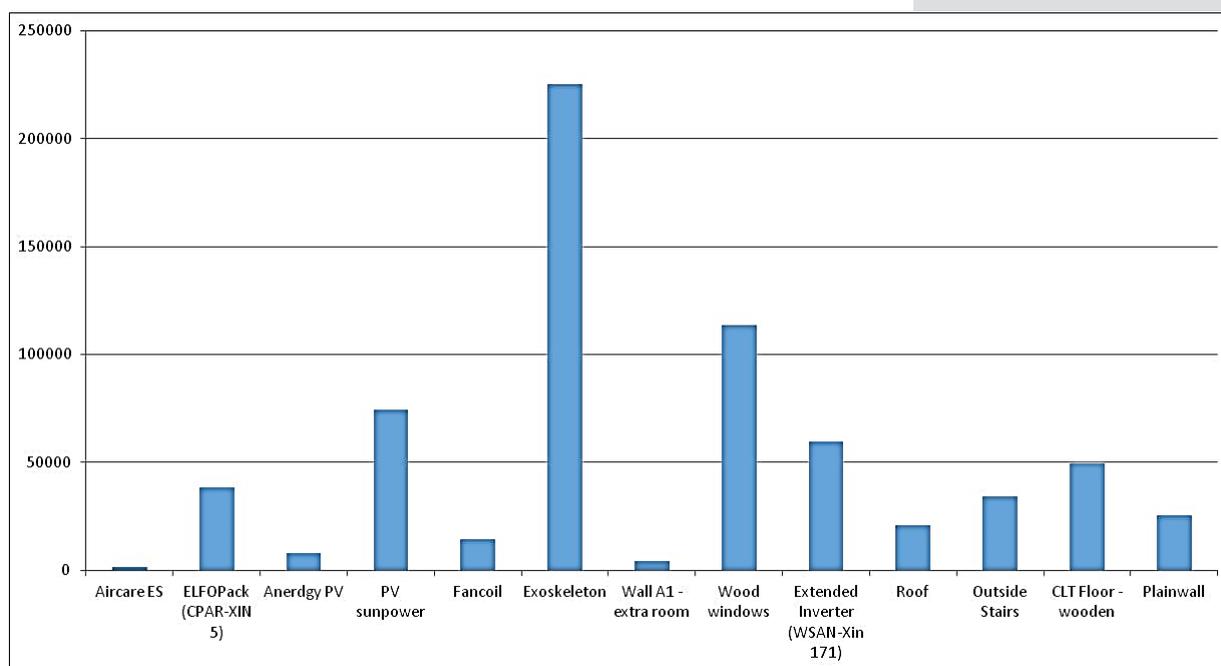


Table 2. Impact of components in the Get-System [kg CO_{2e}] for a period of analysis of 50 years.

As regards the cost analysis, Table 3 allows to understand how the costs are distributed by category and along the period of analysis. The 18 scenarios presented concern all the possible combinations of the parameters that affect these particular results: the period of analysis (due to energy, maintenance and replacement costs), the price variation and the yearly escalation of the price of electricity. Two categories of costs stand up: building materials and works and electrical costs. The preponderance of each of them depends on the scenario. For the EU scenario (LCC without real estate value increase), it can be stated that for the Athens pilot building, over 50% of the assessed scenarios outcomes foresee savings between 4 M€ and 6 M€ when choosing the GET-renovation over the demolition or new built option. When analysing the GET-renovation as a percentage of the demolition and new built option, the median value is around 50%.

For the Greek scenario (including real estate value increase), it can be stated that most of the assessed scenarios outcomes foresee savings between 1 M€ and 3 M€ when choosing the GET-renovation over the demolition and new construction option. When analysing the GET-renovation as a percentage of the new solution, the median value is around 75%. The median value of the LCC for the GET renovation in the different scenarios, including the real estate value increase, is 5 M€.

Per quanto riguarda i sistemi energetici, il sistema fotovoltaico di Anergdy è molto competitivo in termini di GWP rispetto agli studi esistenti. Per un modulo fotovoltaico MRE C05, il GWP dello scenario di base (dalla culla alla tomba di origine mondiale) è di 233 kgdi CO_{2e}, molto al di sotto del GWP di 2095 kgdi CO_{2e} dello scenario dalla culla al cancello, grazie all'impatto positivo della produzione di energia elettrica rinnovabile per una durata di 30 anni. Il sistema di ventilazione progettato da Savio è già ben ottimizzato e rimane un piccolo margine di miglioramento. Infine, la pompa di calore Elfopack ha un punto debole a causa del refrigerante, che sta avendo una grande influenza sulle prestazioni ambientali complessive del prodotto. In termini generali, il rinnovamento totale GET ad Atene ha un GWP stimato di 1000 tonnellate di CO_{2e} per un periodo di 100 anni, mentre per un periodo di 50 anni è di circa 700 tonnellate di CO_{2e}. Le finestre, l'esoscheletro e il sistema fotovoltaico sono i componenti più impattanti del sistema GET. Si raccomandano finestre in legno per ridurre l'impatto. Per un periodo di analisi di 50 anni, l'esoscheletro è, per differenza, il componente più impattante del Sistema GET (Fig. 3). Dividendo per la superficie utile dell'edificio, il valore medio di 1000 kg di CO_{2e}/m² per un approccio dalla culla alla tomba sembra essere un presupposto realistico per l'attuale confronto, anche se altri studi

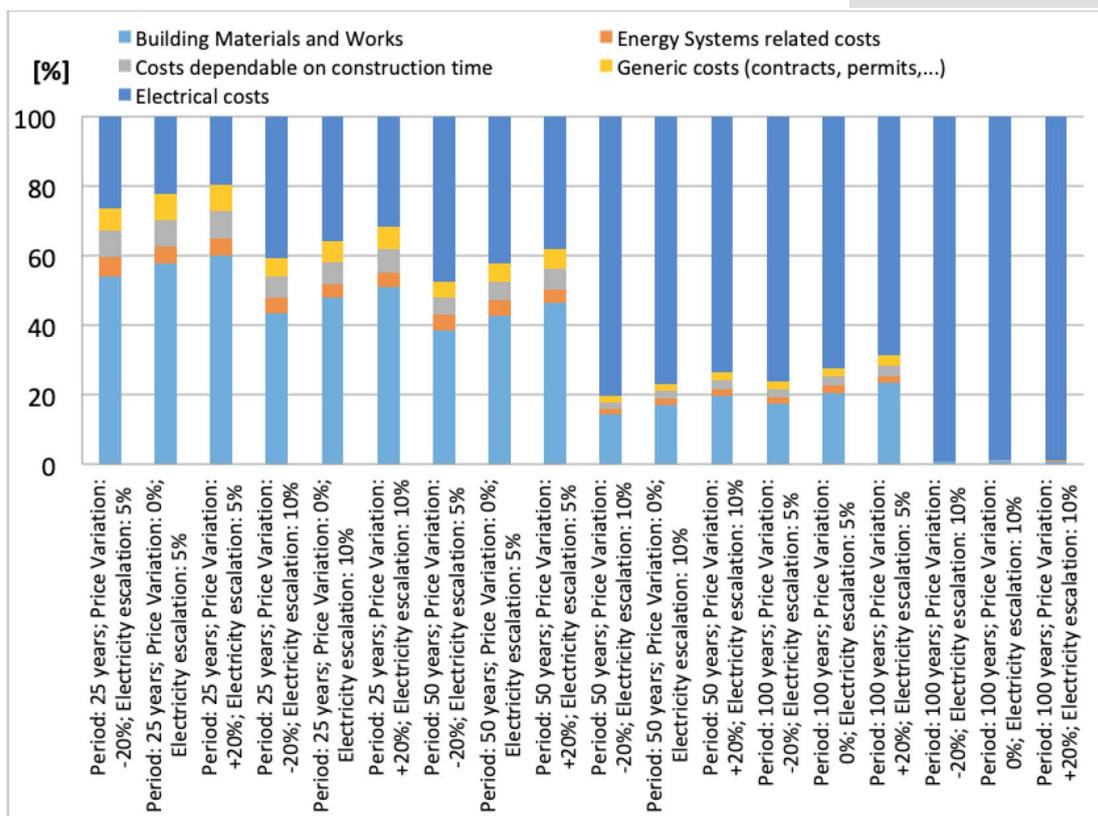


Table 3. Distribution of costs by category and along the periods of analysis.

As regards the cost categories, when a lifetime of 25 years is considered, building materials and works are the most influencing costs, whereas, for a horizon of 100 years, electricity consumption costs are dominant.

As for the energy payback, in more than 50% of the calculated scenarios, the achieved energy savings pay back the investments and maintenance costs of the GET renovation such as designed for the Athens pilot building comparing to maintaining the status quo. When considering 100 years, 75% of results are positive in terms of energy payback. Nevertheless, the results are highly dependent on the considered building lifetime and energy prices escalation, as well as on the actual energy consumed. No important deviations on the energy consumed are expected but low energy consuming buildings are very sensitive to building operation and occupants' behaviour, so it is important to consider these aspects to promote the expected economic results.

5. CONCLUSIONS

An innovative approach for building deep renovations (or refurbishment) has been presented, integrating seismic rehabilitation and energy retrofit. Both the environmental and cost assessments have been carried out following referenced methodologies and standards. The goals of the environmental assessment were to compare the alternatives in some of the options for the Get-System and to assess the GET renovation approach versus a demolition + new built approach.

In general terms the whole building assessment clearly shows that the GET-renovation scenario is producing less CO_{2e} emissions than demolition and new built, and even less in the case of maintaining the building almost as it is. As for the energy payback, in more than 50% of the calculated scenarios, the achieved energy savings pay back the investments and maintenance costs of the GET renovation such as designed for the Athens pilot building, comparing to maintaining the status quo.

However, results might have an important variation. This fact is due to the type of study, with a big number of elements and data, which are still not known accurately. Availability of data is a typical barrier in this kind of studies, in addition to the type of project – an innovation project –, which increases the challenge. In addition, the baseline scenario (a new building) is estimated through existing sources, but there is not a specific design for this purpose. Therefore, the results and conclusions might vary in the following steps of the research according to these limitations.

Finally, methodologies and data do not allow the full appreciation of the

forniscono valori più bassi.

Per la valutazione dell'intero edificio, lo scenario di base è la demolizione e la costruzione di un nuovo edificio con le stesse prestazioni di sicurezza ed energia. La valutazione mostra che lo scenario con la ristrutturazione GET ha chiaramente un impatto molto minore in termini di emissioni di CO_{2e} rispetto alla demolizione e alla nuova costruzione e ancora meno rispetto all'ipotesi di mantenere l'edificio circa così com'è.

Per quanto riguarda l'analisi dei costi, la Tabella 3 consente di comprendere come i costi siano distribuiti per categoria e lungo il periodo di analisi. I 18 scenari presentati riguardano tutte le possibili combinazioni dei parametri che incidono su questi risultati particolari: il periodo di analisi (dovuto all'energia, ai costi di manutenzione e di sostituzione dei componenti), la variazione di prezzo e l'aumento annuale del prezzo dell'elettricità. Due categorie di costi sono in evidenza: quelli relativi ai materiali da costruzione e alle attività connesse e i costi elettrici. La prevalenza di uno o dell'altro dipende dallo scenario.

In base allo scenario UE (LCC senza aumento del valore immobiliare), si può affermare che per il progetto pilota di Atene, oltre il 50% dei risultati degli scenari valutati prevede risparmi tra 4 M€ e 6 M€ nel caso in cui si scelga il rinnovamento GET rispetto alla demolizione o la nuova costruzione. Analizzando i costi del rinnovamento GET in percentuale rispetto alla demolizione e alla opzione del nuovo, il valore medio è di circa il 50%.

Per lo scenario greco (incluso l'aumento del valore immobiliare), si può affermare che la maggior parte dei risultati degli scenari valutati prevede risparmi tra 1 M€ e 3 M€, nel caso in cui si scelga il rinnovamento GET rispetto alla demolizione e all'opzione della nuova costruzione. Quando si analizza il rinnovamento GET in percentuale rispetto alla nuova costruzione, il valore medio è di circa il 75%. Il valore medio dell'LCC per il rinnovamento GET nei diversi scenari, incluso l'aumento del valore immobiliare, è di 5 M€.

Per quanto riguarda le categorie di costo, se si considera una durata di 25 anni, i materiali da costruzione e le opere sono i costi più influenti, mentre in un orizzonte di 100 anni i costi relativi al consumo di elettricità sono dominanti.

Per quanto riguarda il tempo di payback relativo all'energia, in oltre il 50% degli scenari calcolati, i risparmi energetici ottenuti ripagano gli investimenti e i costi di manutenzione del rinnovamento GET, in base al progetto dell'edificio pilota di Atene, rispetto al mantenimento dello status quo. Se si considera un orizzonte di 100 anni, il 75% dei risultati è positivo in termini di payback. Tuttavia, i risultati dipendono fortemente dalla durata considerata dell'edificio e dall'aumento dei prezzi dell'energia,

extra-benefits related to the proposed renovation approach. Co-benefits of the GET renovation, such as better health (improved air quality, thermal comfort, lighting, avoided injured), better safety (avoided damage, lower insurance tax, higher building value), increased space and improved aesthetics have been identified and listed but most research to quantify them in economic terms (in order to be included in a LCC approach) is still to be done in a general framework. Limitations have been encountered to quantify the economic and social value coming from the safety improvement, the improved indoor quality and the low environmental impact obtained with the renovation, which is directly benefiting the occupants and the society as a whole. This is not a specific barrier for the project, but for all the long term investments that contribute to other gains, vis-a-vis the ones that are quantifiable in terms of current economic calculations.

6. REFERENCES

- [1] Guardigli L., Gulli R., Mazzoli C., La recente pratica della riqualificazione o della demolizione e ricostruzione dell'edilizia residenziale in Italia: due casi particolari. In: Colloqui.AT.e 2017, Demolition or Reconstruction? Ancona, september 28-29th 2017. Monfalcone: Edicom, 2017, p. 640-651.
- [2] Semprini G., Gulli R., Ferrante A., Deep regeneration vs shallow renovation to achieve nearly Zero Energy in existing buildings: Energy saving and economic impact of design solutions in the housing stock of Bologna. In: Energy and Buildings, Volume 156, Elsevier, 2017, p. 327-342.
- [3] Joint Working Group of CAEED, CA EPBD, CA RES, *Towards assisting EU Member States on developing long term strategies for mobilising investment in building energy renovation*, November 2013.
- [4] Fotopoulou A., Semprini G., Cattani E., Schihin Y., Weyer J., Gulli R., Ferrante A., Deep renovation in existing residential buildings through façade additions: A case study in a typical residential building of the 70s. In: Energy and Buildings, Volume 166, Elsevier, 2018, p. 258-270.
- [5] Politecnico di Torino, Progetto Episcopo, Energy Performance Indicator Tracking Schemes for the Continuous Optimisation of Refurbishment Processes in European Housing Stocks.
- [6] Vrijders J., Delem L., Economical and environmental impact of low energy housing renovation. LEHR Project, BBRI, 2009.
- [7] Pro-GET-onE web page, <https://www.progetone.eu>
- [8] Bataineh K. M., Khaled M., Analysis of thermal performance of building attached sunspace. In: Energy and Buildings, Volume 43, Issue 8, Elsevier, 2011, p. 1863-1868.
- [9] Lavagna M., *Life Cycle assessment in edilizia. Progettare e costruire in una prospettiva di sostenibilità ambientale*, Milano: Hoepli, 2008.
- [10] slam H., Jollands M., Setunge S., Life Cycle Assessment and life cycle cost implication of residential buildings – A review. In: Renewables and Sustainable Energy Reviews, Volume 42, Elsevier, 2015, p. 129-140.
- [11] Guardigli L., Bragadin M., Della Fornace P., Mazzoli C., Prati D., Energy retrofit alternatives and cost-optimal analysis for large public housing stocks. Energy & Buildings, 166, 2018, p. 48-59.
- [12] Daniotti B., *Durabilità e manutenzione edilizia*. Torino: UTET, 2012.
- [13] Re Cecconi F., Marcon F., *Manutenzione e durata degli edifici e degli impianti*. Santarcangelo di Romagna: Maggioli, 2012.
- [14] Bragadin M., Boiardi L., Santoni L., Global Cost Analysis for energy refurbishment of Social Housing, In: ISTE A 2014 Proceedings, Maggioli, Rimini, 2014, p. 405-421.
- [15] EST (Energy Saving Trust), *Using whole life cycle costing as a basis for investments in energy efficiency – guidance* (2005 edition).
- [16] Zacà I., D'agostino D., Congedo P., Baglivo C., Assessment of cost-optimality and technical solutions in high performance multi residential buildings in the Mediterranean area. Energy and Buildings, 102, 2015, p. 250-265.

nonché dall'energia effettivamente consumata. Non si prevedono deviazioni importanti sull'energia consumata, ma gli edifici a basso consumo energetico sono molto sensibili al modo in cui vengono fatti funzionare e al comportamento degli occupanti; è quindi importante curare questi aspetti per favorire i risultati economici attesi.

5. CONCLUSIONI

In questo articolo è stato presentato un approccio innovativo al rinnovamento (o ristrutturazione) pesante, che integra la riqualificazione sismica e il retrofit energetico. Le valutazioni ambientali e dei costi sono state eseguite seguendo metodologie e standard di riferimento. Gli obiettivi della valutazione ambientale erano di confrontare le alternative in alcune delle opzioni per Get-System e di valutare un approccio GET volto al rinnovamento rispetto a un approccio indirizzato alla demolizione e alla nuova costruzione.

In termini generali, la valutazione dell'edificio nel suo complesso mostra chiaramente che la ristrutturazione GET produce emissioni di CO₂ inferiori rispetto alla demolizione e alla nuova costruzione, e ancora meno rispetto al mantenimento dell'edificio quasi com'è. Per quanto riguarda il payback energetico, in oltre il 50% degli scenari calcolati i risparmi energetici ottenuti ripagano gli investimenti e i costi di manutenzione del rinnovamento GET, secondo il progetto pilota di Atene, rispetto al mantenimento dello status quo.

I risultati potrebbero tuttavia subire una variazione significativa. Questa possibilità deriva dal tipo di studio, caratterizzato da un gran numero di elementi e dati non ancora noti con precisione. La disponibilità dei dati, oltre al tipo di progetto – un progetto innovativo –, è una barriera tipica in questo tipo di studi, che tuttavia aumenta la sfida. Inoltre, lo scenario di base (il nuovo edificio) è stimato attraverso fonti esistenti, ma non esiste un progetto specifico. I risultati e le conclusioni dello studio potrebbero dunque variare nelle fasi successive della ricerca in seguito a queste limitazioni.

Infine, le metodologie seguite e dati ottenuti non consentono il pieno apprezzamento degli extra-benefici legati al progetto di rinnovamento proposto. Vi sono vantaggi del rinnovamento GET nel miglioramento della salute degli utenti (migliore qualità dell'aria, comfort termico, illuminazione, evitati infortuni), nel miglioramento della sicurezza (danni evitati, tasse assicurative più basse, valore dell'edificio più elevato), nel miglioramento dello spazio e dell'estetica, ma la maggior parte della ricerca per quantificare economicamente questi aspetti (nell'ambito di un approccio LCC) deve ancora essere effettuata in un quadro generale. Sono state infine riscontrate limitazioni nel quantificare il valore economico e

- [17] Ferreira J., Duarte Pinheiro M., de Brito J., Economic and environmental savings of structural buildings refurbishment with demolition and reconstruction - A Portuguese benchmarking. In: Journal of Building Engineering, Volume 3, 2015, p. 114-126.
- [18] Islam H., Jollands M., Setunge S., Bhuiyan M. A., Optimization approach of balancing life cycle cost and environmental impacts on residential building design. In: Energy and Buildings, Volume 87, Elsevier, 2015, p. 282-292.
- [19] Famuyibo A., Duffy A., Strachan P., Achieving a holistic view of the life cycle performance of existing dwellings, Building and Environment, 70, 2013, p. 90-101.
- [20] De Wolf C., Pomponi F., Moncaster A. et al., Measuring embodied carbon dioxide equivalent of buildings: A review and critique of current industry practice, Energy and Buildings, 140, 2017, p. 68-80.

sociale derivante dal miglioramento della sicurezza, dalla qualità degli ambienti interni e dal basso impatto ambientale ottenuto con la ristrutturazione, a beneficio diretto degli occupanti e della società nel suo insieme. Non si tratta di una barriera specifica di questo progetto, ma tipica di tutti gli investimenti a lungo termine che contribuiscono a guadagni diversi da quelli quantificabili con i correnti calcoli economici.