



ALMA MATER STUDIORUM
UNIVERSITÀ DI BOLOGNA

ARCHIVIO ISTITUZIONALE DELLA RICERCA

Alma Mater Studiorum Università di Bologna Archivio istituzionale della ricerca

Pianificazione e gestione del ciclo di vita di edifici esistenti di social housing

This is the final peer-reviewed author's accepted manuscript (postprint) of the following publication:

Published Version:

Luca Guardigli, M.B. (2018). Pianificazione e gestione del ciclo di vita di edifici esistenti di social housing. Monfalcone : Edicom Edizioni.

Availability:

This version is available at: <https://hdl.handle.net/11585/679218> since: 2019-10-01

Published:

DOI: <http://doi.org/>

Terms of use:

Some rights reserved. The terms and conditions for the reuse of this version of the manuscript are specified in the publishing policy. For all terms of use and more information see the publisher's website.

This item was downloaded from IRIS Università di Bologna (<https://cris.unibo.it/>).
When citing, please refer to the published version.

(Article begins on next page)

PIANIFICAZIONE E GESTIONE DEL CICLO DI VITA DI EDIFICI ESISTENTI DI SOCIAL HOUSING

LIFE CYCLE PLANNING AND MANAGEMENT FOR EXISTING SOCIAL HOUSING BUILDINGS

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

*Università di Bologna - Bologna, Italia. luca.guardigli@unibo.it;

marcoalvise.bragadin@unibo.it; annarita.ferrante@unibo.it; riccardo.gulli@unibo.it

Abstract Con riferimento al concetto di edilizia circolare, intesa come riduzione degli impatti ambientali del processo edilizio nelle sue varie fasi attraverso il riuso e la riqualificazione, lo studio del ciclo di vita assume una rilevanza sempre maggiore. La riqualificazione è intesa come approccio sostenibile al miglioramento prestazionale del patrimonio costruito che ne consente l'incremento della vita utile, in confronto al più radicale ed impattante intervento di demolizione e ricostruzione. In particolare, gli aspetti prestazionali che attualmente assumono maggiore rilevanza sono quelli relativi alla riabilitazione sismica delle strutture ed alla riqualificazione energetica dell'involucro e degli impianti. Si tratta tuttavia di interventi invasivi ed economicamente rilevanti che difficilmente un privato affronta in mancanza di specifici input normativi ed economici. Per questo, la riqualificazione dell'edilizia pubblica ed in particolare del social housing, può assumere un ruolo guida del settore edilizio. Lo studio della letteratura ha rivelato diversi approcci al problema, fondamentalmente basati sullo studio del ciclo di vita del bene edilizio e dei suoi impatti a livello ambientale, ovvero di Life Cycle Assessment (LCA) e delle sue ricadute economiche, il Life Cycle Cost Assessment (LCCA). Nell'ambito del progetto di ricerca europeo PRO-GET-ONE, coordinato dall'Università di Bologna, è in corso di studio un approccio alla riqualificazione sismica ed energetica di edifici esistenti di social housing basato sulla realizzazione di un esoscheletro esterno che migliora sia le prestazioni sismiche che quelle energetiche in modo integrato, creando inoltre un plusvalore per l'incremento delle superfici abitative. L'approccio integrato alla riqualificazione prestazionale della *deep renovation* porta alla identificazione di nuove strategie di pianificazione e gestione del ciclo di vita dell'immobile basate sulla identificazione di indicatori di prestazione di tipo ambientale LCA ed economico LCC che hanno lo scopo di valutare le alternative di intervento in particolare bilanciando le due strategie di recupero, sismica ed energetica.

Abstract With reference to the concept of circular construction, intended as the reduction of the environmental impacts in the building process through reuse and rehabilitation actions, the study of the life cycle is continuously increasing its relevance. The rehabilitation is considered a sustainable approach to improve the performances of building stocks, enabling the extension of the service

life, compared to the more radical and impactful intervention of demolition and reconstruction. In particular, the most relevant aspects related to building performance concern the seismic rehabilitation of structures and the energy retrofitting of envelopes and building services. However, these are invasive and economically relevant interventions, that a private investor barely faces without specific regulations or economic inputs. For this reason, the rehabilitation of public buildings and, particularly of public housing can assume a leading role in the building sector. The study of the scientific literature has revealed different approaches to this issue, primarily based on the study of the life cycle and the environmental impacts of the built assets, i.e. the Life Cycle Assessment (LCA) with its economic consequences, the Life Cost Assessment (LCC). The European research project PRO-GET-ONE, coordinated by the University of Bologna, studies an innovative approach to the seismic and energy rehabilitation of public housing, based on the realization of an *eso-skeleton* for the combined improvement of the seismic and energy performances of the buildings, that also generates a surplus value as a consequence of the increased living surfaces. This integrated approach to the building performance rehabilitation of the deep renovation leads to new strategies of life cycle planning and management based on the identification of environmental performance indicators with the goal of evaluating intervention alternatives, balancing the two – seismic and energy – renovation strategies.

Keywords life cycle planning, building sustainability, social housing, renovation building projects, Pro-Get-One.

1. Introduzione

In Europa il recupero del patrimonio edilizio esistente riguarda la stragrande maggioranza degli interventi. La causa di ciò non si può far risalire solo alla stagnazione demografica o alle politiche urbanistiche attente a ridurre il consumo di suolo e a valorizzare la conservazione, ma anche alla praticabilità economica e funzionale degli interventi. Tali interventi di recupero sono oggi suddivisi in pesanti (*deep*) – o importanti - e leggeri (*shallow*): la distinzione risiede essenzialmente nel fatto che gli interventi pesanti hanno forti ricadute sulle prestazioni generali dell’immobile, fino a portarlo ai livelli delle nuove costruzioni, mentre quelli leggeri si accontentano di livelli considerati semplicemente migliorativi dei livelli prestazionali precedenti [1]. Nel secondo caso si tratta anche solo di rinnovamenti funzionali e/o a fini estetici. Non vi è una vera prevalenza degli uni sugli altri, poiché molto dipende dalle condizioni originarie dell’immobile; gli interventi pesanti sono di fatto molto presenti sul mercato e l’adeguamento alla norma è oggi visto come aspetto decisivo nel recupero, anche ai fini dell’aumento del valore immobiliare dell’edificio [2]. Implicitamente l’azione di adeguamento sottintende una visione a medio-lungo termine. In altre parole, le ristrutturazioni pesanti sono spesso effettuate anche

con tempi di ritorno superiori ai 10 anni, affidandosi all'idea che il plus valore dell'oggetto finale compensi l'investimento iniziale. Ciò significa che gli interventi di recupero non sono visti solo come un'opportunità economica, ma anche come un modo per vivere con maggiore sicurezza, maggior comfort e qualità in generale, secondo le aumentate esigenze degli utenti [3]. Nel caso dei piccoli interventi – per esempio, la coibentazione dell'involucro con cappotto termico, la sostituzione degli infissi o di alcuni componenti impiantistiche – il tempo di ritorno è invece determinante. Si scelgono gli investimenti che forniscono un costo ottimale e un tempo di ritorno moderatamente ridotto. Gli interventi di messa in sicurezza degli edifici dal punto di vista sismico, in assenza di chiare e significative carenze, escono da questa logica e sono più rari, in quanto onerosi in termini di investimento iniziale e spesso non visti come necessari. Per essi non si può ragionare in termini di tempi di ritorno e la loro convenienza non è quantificabile, corrispondendo a danni potenziali a cose e persone con tempi di ritorno lunghissimi.

Spesso le intenzioni di recupero 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 di opportunità, cioè 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, le analisi sui costi e sull'impatto ambientale nel ciclo di vita degli immobili possono essere di supporto alla progettazione dell'intervento di recupero. Infatti, le analisi del tipo LCC e LCA permettono di valutare gli effetti delle scelte tecniche a medio-lungo termine in termini economici e di impatto [4].

2. La pianificazione del ciclo di vita: LCC e LCA

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). Tramite l'uso di alcuni indicatori economici la progettazione del ciclo di vita può consentire la comparazione di diverse strategie e soluzioni progettuali per il recupero [5] (ISO 15686-1: 2011 – Buildings and constructed assets – Service life planning – Part 1: General principles and framework). Il progetto del ciclo di vita, o per la durabilità, deve fornire sufficiente evidenza che la stima del ciclo di vita utile dopo l'intervento abbia una durata almeno pari a quella richiesta dalla normativa interna ed esterna, riducendo i costi di esercizio e facilitando la manutenzione. Come noto, la vita utile è il periodo di tempo dopo l'installazione/costruzione di un componente o di un prodotto, o di un intero edificio, nel quale sono soddisfatti i requisiti prestazionali richiesti. La pianificazione del ciclo

di vita è un processo previsionale, per cui è ammesso un certo livello di approssimazione nella determinazione degli effetti, sia dal punto di vista qualitativo che quantitativo. Nello studio del ciclo di vita devono essere inclusi i seguenti aspetti:

- a) la prestazione probabile dei componenti dell'edificio, considerando le condizioni attese di uso e dell'ambiente esterno;
- b) la costruzione del sistema edilizio;
- c) i costi e gli impatti ambientali del sistema edilizio nel ciclo di vita studiato;
- d) i costi di esercizio e di manutenzione;
- e) la necessità di riparazioni, sostituzioni, smantellamento, rimozione, riuso e dismissione, ed i relativi costi.

La vita utile è di difficile previsione e dipende da vari fattori come l'esposizione ambientale, la prestazione del componente nelle condizioni previste, la qualità della costruzione, dei componenti, dei materiali, la qualità di relazione, le condizioni di uso e di manutenzione. Si tratta di dati di difficile acquisizione per uno specifico edificio, e nella pratica la norma ISO 15686-1 propone di acquisirli da dati reali di edifici simili, o da analisi come il metodo fattoriale o da test di esposizione accelerata a breve termine [6] [7].

Le alternative progettuali e i costi che ne derivano sono valutati in relazione alla costruzione, all'esercizio, alla manutenzione e alla dismissione finale. I costi sono sommati nel periodo di studio e convertiti nel valore attuale per essere utilizzati come parametro decisionale. Con l'emanazione della direttiva 2010/31/UE Energy Performance Building Directive (EPBD) e del relativo regolamento 2012/244/UE, si introduce il metodo del Life Cycle Cost Analysis per il calcolo della prestazione energetica degli edifici in funzione dei costi, declinandone l'applicazione con il metodo del Costo Globale. Il riferimento per la definizione di Costo Globale è la norma EN 15459 e corrisponde al concetto che nella letteratura è chiamato generalmente "analisi del ciclo di vita". Si tratta, in realtà, di una definizione leggermente differente da quella data dalla normativa internazionale ISO 15686-5:2008 che definisce il costo globale di un sistema edilizio come "Whole-Life Cost" (WLC), cioè costo complessivo che tiene conto di tutti i costi significativi e rilevanti, dei benefit, del costo del ciclo di vita LCC, ed anche di costi/profitti non legati alla costruzione come costi finanziari, redditi da vendite e affitti, costi di uso e costi esterni. 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 (e 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 [8]. La letteratura scientifica è consolidata a riguardo [9] [10]. La riduzione dei costi energetici è determinante nel validare la bontà dell'intervento di recupero. In genere un intervento di energy retrofitting standard (cappotto termico e sostituzione dei generatori di energia) è sempre conveniente, con tempi ritorno relativamente ridotti [11].

Nella pratica i costi di manutenzione e sostituzione legati alle opere di coibentazione termica sono trascurati, anche se in letteratura sono spesso valutati e affrontati, come andrebbe fatto per distinguere alcuni materiali di maggiore impatto rispetto ad altri.

Il Life Cycle Assessment è un'azione del tutto parallela e integrata rispetto all'analisi LCC, valutando gli input, output e i potenziali impatti ambientali di un sistema di prodotto durante il suo ciclo di vita, ovvero delle fasi consecutive e relazionate di un sistema di prodotto dalla acquisizione dei materiali grezzi o dalla generazione dalle risorse naturali sino alla dismissione finale [12]. La valutazione del ciclo di vita si compone di quattro fasi ormai ben consolidate (ISO 14040:2006): definizione degli obiettivi e dei confini del sistema; analisi dell'inventario; valutazione di impatto; interpretazione dei risultati.

Nel recupero edilizio vi sono casi in cui nella definizione dell'obiettivo si compara 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 in casi di edifici del tutto obsoleti e non abitati si procede con la demolizione. Non è il caso di Pro-Get-One, dove gli edifici sono abitati e non è in discussione la permanenza degli abitanti in loco. Anzi, la necessità di tale permanenza è determinante nel rendere la scelta del recupero preferibile. In linea di principio l'operazione di demolizione e ricostruzione potrebbe diventare più conveniente in termini di LCA e LCC per un medio lungo periodo (20-30 anni) nel caso in cui fosse intrapresa un'azione complessa di riciclo dei materiali esistenti, conteggiata nell'analisi, e il nuovo edificio, a parità di funzioni, risultasse decisamente più performante del precedente in termini energetici. In ogni caso, questa parte non è entrata in discussione [13].

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 per fase del processo produttivo e del ciclo di vita i seguenti elementi: 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. La norma ISO 14044 descrive come impostare la valutazione quantitativa degli impatti associati ai flussi identificati nell'inventario in base agli "indicatori di categoria", ossia ai parametri rappresentativi degli impatti legati ai consumi di risorse (flussi in ingresso) e alle emissioni (flussi in uscita). 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 questo passaggio si passa dal dato oggettivo (quantità di sostanza) calcolato nell'inventario al "giudizio" di pericolosità ambientale e di danno potenziale. La pesatura determina l'importanza dei singoli effetti dei componenti analizzati sull'ambiente [12]. I metodi LCC e LCA sono spesso integrati in letteratura. 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. In un'ottica di pianificazione del ciclo di vita, la pesatura tra indicatori LCC e indicatori LCA è forse più importante della pesatura degli impatti causati dai singoli prodotti.

3. Il caso Pro-Get-One

Il progetto europeo Horizon 20-20 dal titolo Pro-Get-One 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 energetico 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 reale intervento di recupero 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: requisiti energetici, aggiungendo nuovi involucri prefabbricati plug and play ad alta efficienza energetica e sistemi HVAC (riscaldamento, ventilazione, climatizzazione); sicurezza, utilizzando strutture esterne adeguate per aumentare la capacità strutturale complessiva dell'edificio, ospitando anche i componenti edilizi dell'involucro; 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 potrebbero impedire agli abitanti di rimanere nei loro alloggi per lungo tempo, viene utilizzato un sistema di elementi metallici esterni (eso-scheletro GET SYSTEM), collegato alla struttura esistente e opportunamente dimensionato, in modo da ridurre gli spostamenti globali alle azioni orizzontali e contribuire anche 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 anche dal punto di vista dell'accantieramento, poiché non richiede l'esecuzione di operazioni invasive. L'installazione necessita inoltre di una fondazione relativamente ridotta. Elemento di grande importanza per il sistema, diviene il giunto tra il telaio esistente in calcestruzzo armato e la struttura metallica (Fig. 2). La nuova struttura esterna ospita anche i sistemi impiantistici necessari per la riqualificazione energetica e costituisce uno strumento progettuale per migliorare l'estetica della facciata, seguendo le aspettative e le richieste degli utenti.

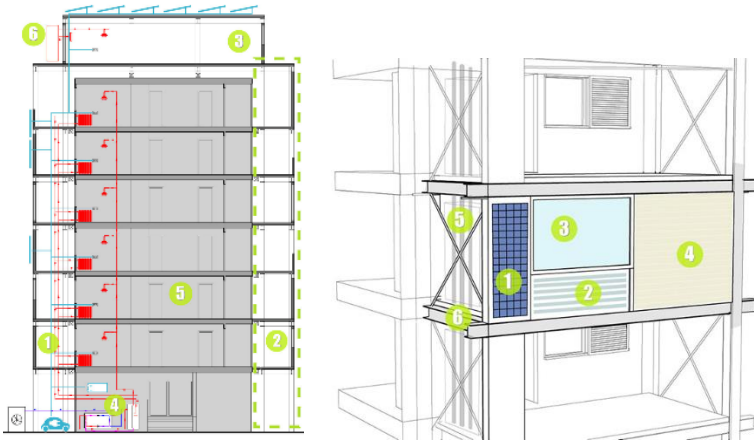


Fig. 1. Pro-Get-One, sezione del progetto preliminare con l'ampliamento delle superfici e particolare del sistema modulare con i dispositivi impiantistici e di involucro.

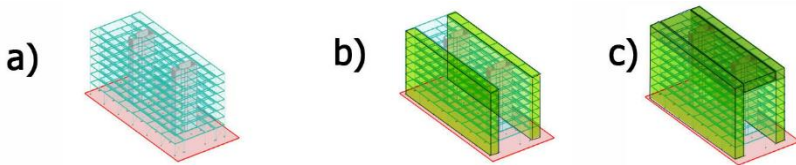


Fig. 2. Pro-Get-One, schemi di eso-scheletro.

Esistono alcuni esempi europei di soluzioni tecnologiche che prevedono degli eso-scheletri per il recupero di edifici esistenti – Tour Bois de la Prêtre a Parigi, di Druot, Lacaton e Vassal; condominio ad Aalborg di Møller Architects; torre in Weberstrasse a Winterthur, di Burkhalter Sumi Architekten – , ma nessuna di esse riguarda ancora strutture in grado di ridurre la vulnerabilità sismica degli edifici ospitando nello stesso tempo componenti edilizi ed impianti per diminuire i consumi energetici.

Lo studio LCC e LCA di Pro-Get-One è in fase di elaborazione, in quanto procede con la definizione del progetto esecutivo sul caso applicativo ad Atene. Nell'ottica della pianificazione del ciclo di vita sono state prese in considerazione tre alternative tra i materiali strutturali (CLT, acciaio e alluminio), valutando il loro impatto ambientale, il loro costo e la loro durabilità. Allo stesso modo sono state definite strategie d'intervento sempre più complete per quanto riguarda l'aspetto energetico, in modo da abbassare il fabbisogno da valori superiori a $100 \text{ kWh/m}^2\text{a}$ a valori progressivi di 90, 30, 10 e $5 \text{ kWh/m}^2\text{a}$ (Tab.1).

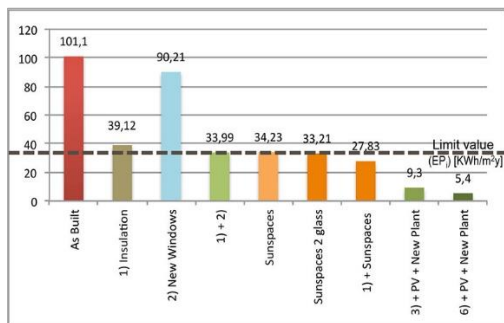


Tabella 1. Stima del costo Globale delle tre alternative progettuali del GET.

Poiché attraverso il retrofitting energetico il consumo di energia durante la fase d'uso viene ridotta in modo significativo sia in estate (elementi di protezione solare) che in inverno, l'importanza per l'energia inglobata dei materiali e per l'impatto ambientale nelle altre fasi del ciclo di vita dell'edificio cresce.

Nella pianificazione del ciclo di vita dell'edificio diventa quindi importante la scelta di materiali a basso energia inglobata nella produzione e nella messa in opera (prefabbricazione) e basso impatto in fase di dismissione. Nell'analisi comparata tra output LCA e LCC per la riqualificazione sismica e output per quella ambientale, nel caso dell'aspetto sismico assume un'importanza prevalente la quantità di materiali utilizzata per l'intervento strutturale di adeguamento sismico: l'abbassamento della vulnerabilità sismica è proporzionale, anche se non linearmente, all'incremento di massa strutturale utilizzata per l'eso-scheletro e quindi all'aumento dell'impatto ambientale.

Per l'aspetto dell'intervento che riguarda gli obiettivi energetici è determinante il consumo in fase operativa: in una previsione di 20 anni, questo consumo di energia, in base a calcoli preliminari, è inferiore a quello inglobato per la produzione dei componenti.

L'obiettivo dell'analisi LCC e LCA è in definitiva quello di capire quale tipo d'intervento abbia un impatto maggiore, il retrofitting energetico o l'adeguamento sismico. In particolare, e soprattutto quale contributo per la sicurezza sismica prevalga, in termini energetici, rispetto al contributo per la riduzione a quasi zero dei consumi energetici. Nel caso dell'impatto dell'esoscheletro, considerando come termine comparativo altre strutture esterne utilizzate come elementi con funzioni bioclimatiche e di alloggiamento di dotazioni energetiche, bisogna valutare la differenza, in termini di impatto dei materiali, rispetto una struttura resistente al sisma.

Calcoli preliminari fanno valutare per la nuova struttura dei costi maggiorati del 30% rispetto ad una soluzione standard di riqualificazione energetica. In tal caso, quando i calcoli definitivi confermeranno questo dato, si potranno valutare in modo abbastanza accurato le influenze delle scelte sui materiali (acciaio, alluminio e/o legno) e modulare il grado di miglioramento strutturale. In via semplificativa, si possono sintetizzare alcuni dati preliminari per le strutture dell'eso-scheletro, considerando una vita utile di 50 anni, un'unità funzionale modulare di 20m², una stima dei costi di manutenzione annuale pari

allo 0,26% dei costi iniziali per strutture esposte e una quota manutentiva che non supera mai il 10% del costo iniziale (Tab. 2) [14].

Struttura	Costo iniziale/m ²	Manut annual/m ²	CG per 50a/m ²
Acciaio	€ 262,50	€ 0,68	€ 283,69
Alluminio	€ 360,00	€ 0,94	€ 389,29
XLAM	€ 250,00	€ 0,65	€ 270,25

Tabella 2. Stima del costo Globale delle tre alternative progettuali del GET.

Struttura	Massa tot per unità abitativa (kg)	Total GWP (kg CO ² eq)	Tot GWP per m ² unità abit. (Kg/m ²)	EE tot (MJ)	EE totale, per m ² di unità abit. (MJ/m ²)
Acciaio	1500	2500	127,50	52500	2625
Alluminio	900	19800	990	195300	9765
XLAM	1246	-1769,32	-88,46	9718,8	485,94

Tabella 3. GWP ed EE per i tre sistemi GET.

Si nota innanzitutto come il costo al metro quadro risulti significativamente superiore rispetto a quello per un intervento standard su strutture opache e trasparenti (cappotto termico e serramenti), che oscilla tra i 100 i 200 Euro/m² in rapporto alla qualità dei componenti, e la sostituzione degli infissi pari a 40 euro a m² di infisso (Tab. 2). Si nota inoltre come l'alluminio strutturale, che bene sarebbe compatibile con la conformazione dell'involucro ai fini della sua riqualificazione energetica, perché permette una migliore integrazione degli impianti, risulta sconveniente in una prospettiva di ciclo di vita rispetto all'acciaio e al legno (Tab. 3).

4. Conclusioni

A partire dai dati LCC e LCA sarà possibile pesare i risultati e quindi procedere con l'affinamento del progetto in sede esecutiva, inserendo nelle scelte anche valutazioni non legate ai costi iniziali, ma ai costi e agli impatti in una prospettiva di vita utile.

Sarà anche possibile modulare il livello di risposta sismica atteso rispetto ai costi e, soprattutto, confrontare la quota parte di costi e impatti legati agli aspetti sismici con quelli legati strettamente alla riduzione dei consumi energetici. Ci si aspetta che nel lungo periodo la quota parte di costi legata alla riqualificazione sismica sia prevalente, considerando i risparmi sui costi energetici di esercizio e limitandosi alla fase d'uso nell'analisi. Una valutazione diversa potrebbe invece scaturire in modo verosimile considerando anche la fase la dismissione dei materiali. Un ultimo aspetto riguarda il fatto di considerare nei Costi Globali, anche l'aumento del valore degli immobili dato dall'incremento delle superfici utili.

Bibliografia

1. Semprini G, Gulli R, Ferrante A (2017) 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, pp 327-342
2. Fotopoulou A, Semprini G, Cattani E, Schihin Y, Weyer J, Gulli R, Ferrante A (2018) 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, pp 258-270
3. Guardigli L, Gulli R, Mazzoli C (2017) 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, Edicom: Monfalcone, pp 640-651.
4. Vrijders J, Delem L (2009) Economical and environmental impact of low energy housing renovation. LEHR Project.
5. Guardigli L., Bragadin M., Della Fornace P., Mazzoli C., Prati D. (2018). Energy retrofit alternatives and cost-optimal analysis for large public housing stocks. *Energy & Buildings*, 166(2018), p. 48-59
6. Daniotti B (2012) *Durabilità e manutenzione edilizia*. Torino: UTET
7. Re Cecconi F, Marcon F (2012) *Manutenzione e durata degli edifici e degli impianti*. Santarcangelo di Romagna: Maggioli
8. Bragadin M., Boiardi L., Santoni L. (2014), *Global Cost Analysis for energy refurbishment of Social Housing*, ISTE 2014 Proceedings, Maggioli, Rimini.
9. Islam H, Jollands M, Setunge S (2015) Life Cycle Assessment and life cycle cost implication of residential buildings – A review. In: *Renewables and Sustainable Energy Reviews*, Volume 42, Elsevier, pp 129-140
10. Islam H, Jollands M, Setunge S, Bhuiyan M A (2015) Optimization approach of balancing life cycle cost and environmental impacts on residential building design. In: *Energy and Buildings*, Volume 87, Elsevier, pp 282-292
11. Bataineh K M, Khaled M (2011) Analysis of thermal performance of building attached sunspace. In: *Energy and Buildings*, Volume 43, Issue 8, Elsevier, pp 1863-1868
12. Lavagna M (2008) *Life Cycle assessment in edilizia. Progettare e costruire in una prospettiva di sostenibilità ambientale* Milano: Hoepli
13. Ferreira J, Duarte Pinheiro M, de Brito J (2015) Economic and environmental savings of structural buildings refurbishment with demolition and reconstruction - A Portuguese benchmarking. In: *Journal of Building Engineering*, Volume 3, pp 114-126
14. Roberto Di Giulio R (2007) *Manuale di manutenzione edilizia*. Santarcangelo di Romagna: Maggioli