

Colloqui.AT.e 2020

New Horizons for Sustainable Architecture

Nuovi orizzonti per l'architettura sostenibile

Editors

Santi Maria Cascone

Giuseppe Margani

Vincenzo Sapienza





**NEW HORIZONS
FOR SUSTAINABLE ARCHITECTURE
NUOVI ORIZZONTI
PER L'ARCHITETTURA SOSTENIBILE**

Editors

Santi Maria Cascone, Giuseppe Margani, Vincenzo Sapienza

10 dicembre 2020

Virtual meeting

Organizing Institution: University of Catania

I curatori, l'editore, gli organizzatori ed il Comitato Scientifico non possono essere ritenuti responsabili né per il contenuto, né per le opinioni espresse all'interno degli articoli.

Gli articoli pubblicati, i cui contenuti sono stati dichiarati originali dagli autori stessi, sono stati sottoposti ad un processo di *double-blind peer review*.

Negli articoli l'asterisco accanto al cognome di un autore indica il referente al quale indirizzare la corrispondenza.

The editors, the publisher, the organizers and the Scientific Committee cannot be held responsible either for the content or for the opinions expressed in the articles.

Published articles, whose contents have been declared original by the authors themselves, have been subjected to a double-blind peer review process.

In the articles, the asterisk next to the surname of an author indicates the contact person to whom correspondence should be addressed.

Il volume è a cura di / The volume was edited by:

Santi Maria Cascone, Giuseppe Margani, Vincenzo Sapienza

EdicomEdizioni
Monfalcone (Gorizia)
tel. 0481/484488
fax 0481/485721
info@edicomedizioni.com
www.edicomedizioni.com
www.edicomstore.it

© Copyright EdicomEdizioni

Vietata la riproduzione anche parziale di testi, disegni e foto se non espressamente autorizzata. Tutti i diritti sono riservati a norma di legge e delle convenzioni internazionali.

The reproduction, even partial, of texts, drawings and photos is forbidden unless expressly authorized. All rights are reserved by law and international conventions.

ISBN 978-88-96386-94-1

Prima edizione dicembre 2020 / First edition December 2020

UNA PROPOSTA SOSTENIBILE E <i>LOW-COST</i> PER IL <i>SOCIAL HOUSING</i> L. Secchiari	1006
ANALYSIS OF BUILDING ENVELOPE RETROFIT STRATEGIES FOR LOW-RISE HIGH-DENSITY RESIDENTIAL HOUSING STOCK IN FOUR INDIAN CLIMATE CONTEXTS A. Sengupta, A.G. Mainini, G. Iannaccone	1018
METHODS AND TECHNIQUES FOR BUILDING MANAGEMENT AND MONITORING	
AUDIT OF THE COOLING ENERGY PERFORMANCE OF AN OFFICE BUILDING RETROFITTED WITH THERMALLY ACTIVATED BUILDING SYSTEMS (TABS) R. Laera, F. Iannone, I. Martínez Pérez, R. Tejedor López, L. de Pereda Fernández, R. Tendero Caballero	1033
DEMOLIRE O RIQUALIFICARE? <i>LIFE CYCLE COST ANALYSIS</i> E PIANO DI MANUTENZIONE PER IL CASO DI STUDIO <i>PRO-GET-ONE</i> M.A. Bragadin, M. D'Alesio, A. Ferrante	1051
INFLUENZA DI MODELLI DI GESTIONE PER IL FUNZIONAMENTO DI SISTEMI OSCURANTI INTERNI SUL CONSUMO ENERGETICO E IL COMFORT LUMINOSO N. Callegaro, S. Pontillo, R. Albatici	1068
UN PROTOCOLLO DI INDAGINE PER LA GESTIONE DEL PATRIMONIO EDILIZIO ESISTENTE. LA TERMOGRAFIA A SUPPORTO DELLA DIAGNOSTICA C. Marchionni, M. Rotilio, P. De Berardinis	1084
MODELLAZIONE NUMERICA DEL PONTE TERMICO TRA PARETE IN CONGLOMERATO CEMENTIZIO ARMATO E SOLAIO DI INTERPIANO T. Basiricò, A. Cottone	1098
LA SOSTENIBILITÀ COME <i>DRIVER</i> DI PROCESSO PER LA RIQUALIFICAZIONE DEL PATRIMONIO EDILIZIO UNIVERSITARIO I. Garofolo, C.A. Stival, N. Strazza	1110
FINALITÀ DELL'APPLICAZIONE DEL MOTION MAGNIFICATION AI MODELLI HBIM M. Angelosanti	1130
UNCONVENTIONAL SUSTAINABLE BUILDING MATERIALS AND TECHNIQUES	
LIFE CYCLE ASSESSMENT DI UN EDIFICIO SCOLASTICO PROGETTATO SECONDO IL PASSIVE HOUSE STANDARD E. Tomasi Morgano, F. Nocera, G. Mangiafico	1145
“C'ERA UNA VOLTA”: PROCESSO COSTRUTTIVO SOSTENIBILE PER LA PROGETTAZIONE PARAMETRICA DI STRUTTURE TEMPORANEE VOLTATE E MODULARI IN MATERIALE RICICLABILE BIO-BASED M. Bonci, C. Mazzoli, D. Prati	1156
PIÙ LEGGERO DEL BAFFO DI UN GATTO. IL GRAFENE: STORIA DI UN MATERIALE INNOVATIVO G. Di Mari, E. Garda, A. Renzulli, M. Sgro	1173
LA MEMORIA COME MATERIALE DEL PROGETTO DELLA SOSTENIBILITÀ S. D'Urso	1189
SUL VANTAGGIO DEI SISTEMI COSTRUTTIVI MASSIVI IN TERRA BATTUTA PER I PAESI DEL MEDITERRANEO R. Caponetto, G. Giuffrida, F. Nocera	1209



Demolire o riqualificare? *Life Cycle Cost Analysis* e Piano di Manutenzione per il caso di studio *Pro-GET-one*

M.A. Bragadin^{1*}, M. D'Alesio², A. Ferrante³

^{1*} Alma Mater Studiorum Università di Bologna, Bologna, marcoalvise.bragadin@unibo.it

² Alma Mater Studiorum Università di Bologna, Bologna, marco.dalesio@unibo.it

³ Alma Mater Studiorum Università di Bologna, Bologna, annarita.ferrante@unibo.it

Abstract

È noto che buona parte del patrimonio edilizio esistente italiano ed europeo necessita di riqualificazioni prestazionali inerenti la sicurezza sismica ed energetica. Si tratta di interventi con alti costi iniziali che inducono spesso a scegliere l'intervento di completa demolizione e ricostruzione. Si tratta forse della scelta più agevole ma, dal punto di vista ambientale, sociale ed economico, della meno sostenibile. Lo studio del ciclo di vita con il metodo del Costo Globale, in relazione ai costi iniziali, di esercizio, di manutenzione e di fine vita può fornire indicazioni e prescrizioni per individuare la migliore strategia di intervento per il caso individuato.

Nell'ambito del progetto di ricerca europeo *Pro-GET-one* – *Proactive Synergy of Integrated Efficient Technologies on Buildings' Envelopes*, coordinato dal Dipartimento di Architettura dell'Università di Bologna, è stato studiato il *Life Cycle Cost* relativo alla riqualificazione sismica, energetica e formale di uno studentato universitario, che prevede, tra l'altro, la costruzione di un esoscheletro prefabbricato in acciaio. A seguito di una analisi strategica sulla convenienza o meno della demolizione con ricostruzione in alternativa alla riqualificazione, si è proceduto alla progettazione della fase di gestione dell'edificio riqualificato, con lo scopo di ottimizzare le scelte tecnologiche progettuali.

Lo studio ha messo in evidenza che dall'analisi della *Cost Breakdown Structure* si evidenziano elementi cosiddetti "centrali" che incidono in modo significativo sui costi di gestione, valutati nell'arco del ciclo di vita secondo la tecnica del *Life Cycle Cost Analysis* (LCCA). L'analisi delle alternative progettuali per questi elementi centrali consente di ottimizzare i costi di gestione, favorendo la sostenibilità economica ed ambientale dell'intervento.

1. Introduzione

È noto che buona parte del patrimonio edilizio esistente italiano ed europeo necessita di riqualificazioni prestazionali inerenti la sicurezza sismica ed energetica [1]. L'intervento di riabilitazione strutturale è in generale un intervento di tipo invasivo che comporta importanti lavorazioni sul

sub-sistema strutturale, mentre quello di riqualificazione energetico è meno invasivo ma economicamente altrettanto rilevante. Pertanto, gli elevati costi di ristrutturazione e la limitazione della fruibilità dell'edificio durante il cantiere di ristrutturazione inducono spesso a scegliere l'intervento di completa demolizione e ricostruzione per aumentare decisamente le prestazioni dell'immobile. Si tratta forse della scelta più agevole ma, dal punto di vista ambientale, sociale ed economico, quella meno sostenibile [2]. Il tema della scelta strategica tra demolizione e ricostruzione oppure riqualificazione e ristrutturazione dell'esistente è quindi affrontato tramite lo studio del ciclo di vita con il metodo del Costo Globale e del *Life Cycle Cost Analysis* (LCCA) [3-5], in relazione ai costi iniziali, di esercizio, di manutenzione e di fine vita che possono fornire indicazioni e prescrizioni per individuare la migliore strategia di intervento per il caso individuato. In particolare lo studio si è concentrato sui costi di manutenzione, che sono di difficile individuazione ma che possono condizionare notevolmente la performance dei costi sull'intero ciclo di vita. La manutenzione edilizia è una attività fondamentale del processo edilizio in quanto garantisce lo svolgimento delle funzioni e dei servizi forniti dall'edificio durante il suo ciclo di vita. La manutenzione edilizia consiste nella combinazione di tutte le azioni tecniche, amministrative e gestionali, previste durante il ciclo di vita di un edificio, destinate a mantenerlo o a riportarlo in uno stato in cui possa eseguire la funzione richiesta [6]. Nell'ambito del progetto di ricerca europeo *Pro-GET-onE*, coordinato dal Dipartimento di Architettura dell'Università di Bologna, è stato studiato il *Life Cycle Cost* (LCC) per la riqualificazione sismica, energetica e formale di uno studentato universitario, con un esoscheletro prefabbricato in acciaio.

2. *Life Cycle Cost Analysis* e Costo Globale

L'introduzione del metodo del calcolo dei costi del ciclo di vita per l'efficientamento energetico degli edifici risale agli anni '70 del secolo scorso. In occasione della crisi energetica e sulla spinta delle normative precedentemente emanate dai singoli stati, il governo federale degli Stati Uniti di America emanò nel 1978 il "*National Energy Conservation Act (95-619)*" che impose la verifica del soddisfacimento dei requisiti di risparmio energetico per gli edifici pubblici federali tramite l'analisi del LCC. È del 1983 (25 febbraio) la prima versione della norma ASTM E 917 "*Standard Practice for Measuring Life-Cycle Costs of Buildings and Building Systems*" che rappresenta a tutt'oggi il fondamentale riferimento per il calcolo e la misura del LCC, oltre alla normativa ISO 15686 [4-5]. Il LCC applicato all'edilizia è un metodo economico per la valutazione delle alternative progettuali nel quale tutti i costi che derivano al proprietario di un immobile in relazione alla costruzione, all'esercizio, alla manutenzione e alla dismissione finale sono sommati in un periodo di studio e convertiti nel valore attuale per essere utilizzati come parametro decisionale per le scelte progettuali [3]. Infatti, la progettazione tecnologica sia della nuova costruzione che della riqualificazione energetica degli edifici esistenti richiede spesso l'attuazione di scelte che devono essere giustificate in relazione a vari parametri quali la sostenibilità, la qualità prestazionale ed i costi dell'investimento. In questo caso il parametro economico può essere un valido supporto al progettista, al *project manager* o al committente per la scelta delle soluzioni progettuali più idonee. Il LCC si può applicare sia in fase di progettazione di nuovi interventi che per la riqualificazione energetica di edifici esistenti con l'obiettivo di minimizzare i costi e i consumi energetici nel ciclo di vita.

Il metodo del Costo Globale

Il regolamento 244/2012/UE del 16 gennaio 2012 definisce il costo globale come la somma del valore attuale dei costi dell'investimento iniziale, dei costi di gestione e dei costi di sostituzione (riferiti all'anno di inizio) nonché dei costi di smaltimento. Il riferimento per il termine "Costo Globale" è la norma EN 15459 e si basa sull'approccio LCC. Si tratta, in realtà, di una definizione leggermente differente da quella data dalla normativa internazionale ISO 15686-5 del 2008 che definisce il costo globale come *Whole-Life Cost* di un sistema edilizio come 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. Infatti, se l'analisi è svolta a livello "finanziario" non ci sono differenze, ma se è svolta a livello "macroeconomico" il regolamento UE (e gli orientamenti del documento allegato 2102/C 115/01) aggiunge la nuova categoria del "costo delle emissioni di gas ad effetto serra".

Nello specifico il regolamento europeo segue la norma EN 15459 e definisce per lo studio del Costo Globale i seguenti costi fondamentali:

- investimento iniziale;
- energetici;
- di funzionamento;
- di manutenzione;
- di sostituzione;
- di smaltimento;
- delle emissioni di gas serra.

Come costi dell'investimento iniziale si considerano tutti i costi incorsi fino al momento in cui l'edificio o l'elemento edilizio è consegnato al cliente, pronto per l'uso. I costi energetici sono i costi annuali e le spese per l'energia. I costi di funzionamento sono tutti i costi connessi con il funzionamento dell'edificio, fra cui le spese annuali per assicurazioni, utenze di servizi pubblici, altri oneri fissi e fiscalità. I costi di manutenzione sono i costi annuali delle misure volte a conservare e ripristinare la qualità desiderata dell'edificio o dell'elemento edilizio. Comprendono i costi di ispezione, di pulizia, le riparazioni ecc. Il costo di sostituzione è il costo della sostituzione di un elemento edilizio sulla base del ciclo di vita economico. I costi di gestione comprendono i costi energetici, di funzionamento e di manutenzione. Possono comprendere, se del caso, gli introiti generati dall'energia prodotta. I costi di smaltimento sono i costi di dismissione alla fine della vita di un sistema edilizio che comprendono lo smantellamento, la rimozione degli elementi che non hanno ancora raggiunto la fine della loro vita utile, il trasporto e il riciclaggio. 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. Rispecchia i costi di funzionamento quantificati, monetizzati e attualizzati della CO₂ derivante dalle emissioni di gas ad effetto serra in tonnellate equivalenti di CO₂ nell'arco del periodo di calcolo. Come periodo di calcolo il regolamento europeo indica 30 anni per gli edifici residenziali e pubblici e 20 anni per gli edifici commerciali non residenziali. Per la vita utile dei singoli sub-sistemi energetici edilizi si fa ancora riferimento alla norma EN 15459.

Il costo globale “finanziario” di una soluzione tecnica è calcolato con la formula:

$$Cg(\tau) = Ci + \sum_j [\sum_{i=1}^{\tau} (Ca,i(j) \times Rd(i)) - Vf,\tau(j)]$$

Dove: τ è il periodo di calcolo; $Cg(\tau)$ è il costo globale nel periodo di calcolo riferito all'anno iniziale; Ci rappresenta il costo iniziale dell'investimento per l'elemento j ; $Ca,i(j)$ è il costo annuale per l'anno i dell'elemento j ; Vf,τ è il valore residuo dell'elemento j ; $Rd(i)$ è il fattore di sconto per l'anno i sulla base del tasso di sconto r da calcolare.

Il fattore di sconto si calcola con la seguente formula:

$$Rd(p) = \left(\frac{1}{1 + r / 100} \right)^p$$

Dove: p è il numero di anni a partire dal periodo iniziale; r rappresenta il tasso di sconto reale.

Il Costo Globale è un sistema di valutazione delle prestazioni di un sistema edilizio che può essere molto utile in fase progettuale per la ricerca delle alternative progettuali più efficienti. Poiché si tratta di una metodologia comparativa, gli elementi invarianti delle alternative progettuali, che non danno variazioni di costo e prestazionali nelle diverse soluzioni, possono essere trascurati o omessi nel calcolo. Il metodo del costo globale si basa sull'attualizzazione della proiezione nel futuro dei costi di realizzazione, gestione e dismissione della soluzione progettuale studiata. Il vantaggio di questo metodo è quello di essere relativo ad un periodo di calcolo reale nel quale si possono confrontare sia le prestazioni energetiche di sistemi e sub-sistemi edilizi, tenendo conto dei sottosistemi (ad es. impiantistici) che presentano un lungo ciclo di vita mediante il calcolo del loro valore residuo al termine del periodo di studio, sia i costi manutentivi previsti.

Strategie di Manutenzione e Piano di Manutenzione

La manutenzione è una attività fondamentale del processo edilizio in quanto garantisce lo svolgimento delle funzioni e dei servizi forniti dall'edificio durante il suo ciclo di vita. La manutenzione edilizia consiste nella combinazione di tutte le azioni tecniche, amministrative e gestionali, previste durante il ciclo di vita di un edificio, destinate a mantenerlo o a riportarlo in uno stato in cui possa eseguire la funzione richiesta [6]. Si possono definire le seguenti strategie di manutenzione:

- Manutenzione a guasto o correttiva: manutenzione eseguita a seguito della rilevazione di un'avaria e volta a riportare un'entità in uno stato in cui essa possa eseguire una funzione richiesta;
- Manutenzione preventiva: manutenzione eseguita a intervalli predeterminati o secondo criteri prescritti e prevista per ridurre la probabilità di guasto o il degrado del funzionamento di un'entità, che a sua volta si distingue in:
 - Manutenzione ciclica: manutenzione preventiva effettuata secondo intervalli di tempo stabiliti o un numero di unità di misura di utilizzo, ma senza una precedente indagine sulle condizioni dell'entità;
 - Manutenzione secondo condizione: manutenzione preventiva che include una combinazione di monitoraggio delle condizioni e/o ispezione e/o prove, analisi e le azioni di manutenzione che ne conseguono.

- Manutenzione predittiva: manutenzione su condizione eseguita in seguito a una previsione derivata dall'analisi ripetuta o da caratteristiche note e dalla valutazione dei parametri significativi afferenti il degrado dell'entità;

La manutenzione si distingue anche in ordinaria e straordinaria [7]. La manutenzione ordinaria è l'insieme degli interventi manutentivi atti a:

- Mantenere lo stato di integrità e le caratteristiche funzionali originarie/in essere del bene;
- Mantenere o ripristinare l'efficienza dei beni;
- Contrastare il normale degrado;
- Assicurare la vita utile del bene;
- Ripristinare la disponibilità del bene a seguito di guasti e/o anomalie.

Si tratta di azioni che non modificano le caratteristiche originarie del bene stesso, lasciandone inalterata la propria struttura essenziale e destinazione d'uso. Sono generalmente richieste a seguito di rilevazione di guasti (manutenzione correttiva), implementazione di politiche manutentive (manutenzione preventiva, ciclica, predittiva, secondo condizione), o per l'insorgere dell'esigenza di ottimizzare la disponibilità del bene o migliorarne l'efficienza (piccole modifiche che non comportano incremento del valore patrimoniale del bene).

La manutenzione straordinaria caratterizza invece gli interventi non ricorrenti e di costo elevato (in confronto ai costi della manutenzione ordinaria ed al valore di ricostruzione dell'edificio). Si tratta di interventi che, nel caso di un sistema edilizio, consentono di:

- migliorare la qualità del bene o adeguarlo a nuove esigenze;
- incrementare l'adeguatezza all'uso o migliorare lo svolgimento delle sue funzioni;
- ridurre i consumi in esercizio;
- aumentare la sicurezza degli utenti e ridurre gli impatti ambientali.

Sono interventi che prolungano la vita utile del sistema edilizio ma non ne modificano le caratteristiche originarie. Si tenga conto che tale classificazione normativa è orientata a tutti i settori industriali, per cui nel settore delle costruzioni l'art. 3 del Testo Unico dell'Edilizia DPR 380/01 riporta definizioni differenti, finalizzate alle procedure amministrative di tipo autorizzativo.

La stima dei costi di manutenzione

La qualità delle attività di manutenzione è influenzata in modo significativo dal budget allocato [8]. La stima dei costi di manutenzione deve essere presentata nel Piano dei Costi di Manutenzione relativo all'immobile scomposto in elementi, funzioni, parti di edificio che realizzi una *Work Breakdown Structure* e una *Cost Breakdown Structure* che permetta il monitoraggio e controllo dei costi manutentivi. La sottostima o la sovrastima dei costi di manutenzione può creare problemi sia nell'esercizio dell'immobile che nella gestione delle stesse attività manutentive, in quanto l'obiettivo del Piano dei Costi di Manutenzione è quello di mantenere (appunto) l'immobile in uno stato accettabile ed adeguato per l'utilizzo.

Lo standard NRM3 *Order of Cost estimating and cost planning for building maintenance works* [9], individua con l'acronimo "CROME" le categorie di costo di un immobile nell'arco del ciclo di vita:

C – *Construct costs*

R – *Renewal costs*

O – *Operation and occupancy costs*

M – *Maintain costs*

E – *Environmental and/or end of life costs*

I costi di manutenzione possono essere scomposti in costi di rinnovamento / sostituzione (*forward maintenance*) e di manutenzione veri e propri (*annualised maintenance*). Si tratta di costi diretti, per manodopera, scorte, materiali ed attrezzature, macchine ed equipaggiamenti, e costi indiretti di tipo amministrativo, gestionale ed “operativo”.

Il piano dei costi [10] ha l’obiettivo di:

- determinare il limite target dei costi del programma di manutenzione;
- informare e regolare il piano dei costi annualizzato in relazione ai limiti di budget;
- predisporre un sistema di supporto alle decisioni per la manutenzione;
- informare quali investimenti sono finanziati per ogni bene (*asset*) e quindi rivedere il piano dei costi nel ciclo di vita
- assicurare il proprietario/committente che le attività manutentive assicurano il miglior valore per il denaro speso in manutenzione.

La stima dei costi di manutenzione può essere svolta con uno dei seguenti metodi [8]:

- metodo dell’area in pianta (*floor area method*);
- metodo dell’unità funzionale (*functional unit method*) (per esempio: per spazio letto per la residenza o per metro quadro di area destinata alla vendita per commerciale);
- il metodo per elementi (*elemental method*).

Il costo totale della manutenzione è la somma dei costi della manutenzione preventiva e di quella correttiva, a guasto avvenuto. Una strategia di manutenzione preventiva ben studiata può ridurre i costi di manutenzione correttiva sino a raggiungere livelli minimi di costo complessivo, l’area di costi ottimali della Fig. 1, in cui la somma dei costi di manutenzione correttiva e preventiva è minima ed è ottimizzata.

Douglas (2017), individua cinque fasi nel processo di ottimizzazione dei costi di manutenzione: identificazione delle funzioni/elementi/aree critiche; analisi dei modi di guasto e degli effetti; valutazione della prassi manutentiva in atto; applicazione della manutenzione predittiva; azioni correttive alla strategia manutentiva [11].

Le, Rasheed, Domingo and Park (2018) indicano che generalmente un numero limitato di componenti (finiture interne ed esterne delle partizioni verticali, orizzontali e inclinate, impianti tecnologici) è responsabile di buona parte dei costi manutentivi. Si tratta di lavori riguardanti intonaci, soffitti, pavimenti e rivestimenti, pitture, coperture e impermeabilizzazioni, infissi, impianti meccanici, elettrici e di trasmissione dati, scarichi e ventilazioni. L’identificazione di questi elementi significativi e dei fattori legati al tipo di edificio, alle funzioni svolte, al modello di uso ed all’effettivo esercizio ed occupazione degli utenti, allo stato di conservazione e manutentivo dell’immobile, può permettere di controllare i costi di manutenzione [8].

Mirghani (2003) riporta che in base alla prassi usuale i costi di manutenzione preventiva possono essere stimati in base alle richieste prestazionali dell’immobile, per cui occorre sviluppare un programma di azioni manutentive che viene valorizzato, mentre i costi di manutenzione correttiva sono basati su di un budget stimato in base ai costi storici della CBS e delle attività manutentive in generale [12].

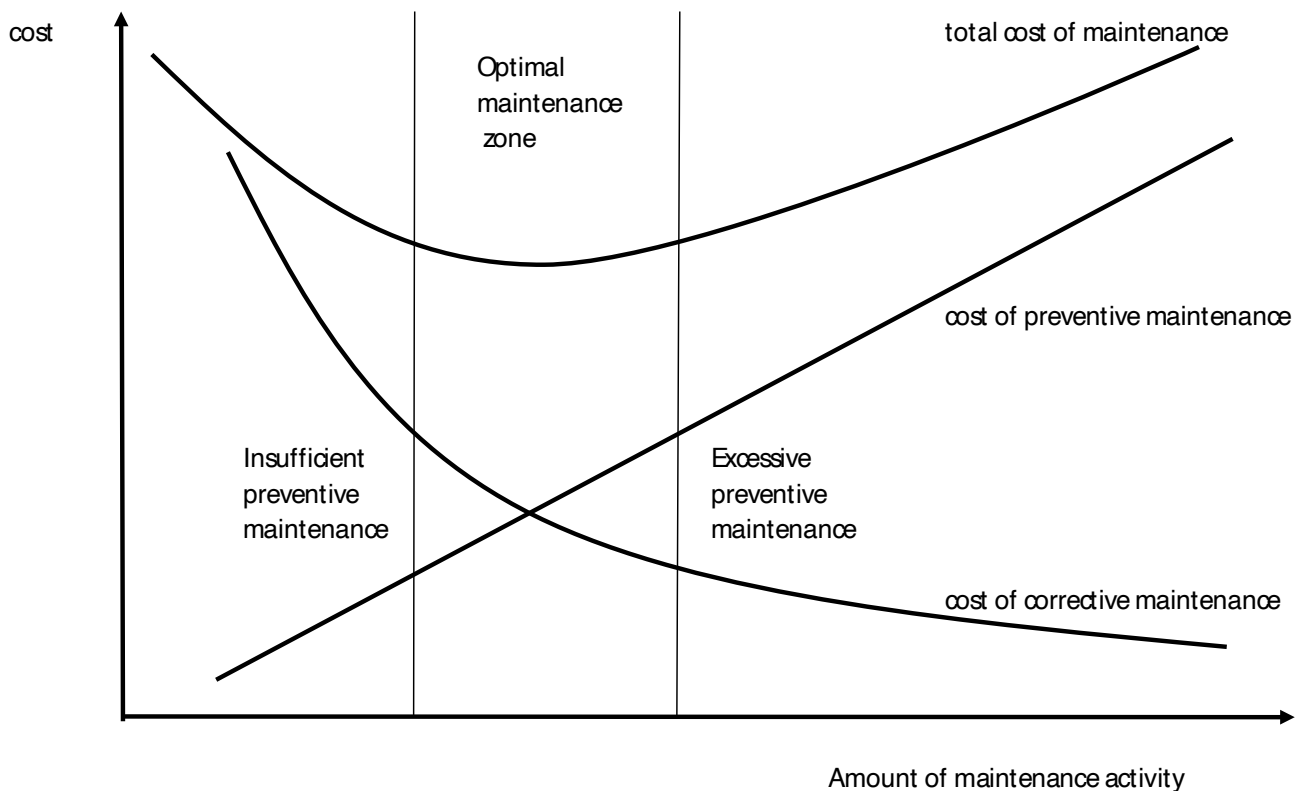


Fig. 1. Ottimizzazione dei costi di manutenzione © 2017, Douglas C. [11].

Nella ricerca di seguito presentata si sviluppa un modello dei costi manutentivi con la tecnica LCC, basato sugli elementi individuati nella *Cost Breakdown Structure* e sulla relativa valorizzazione delle attività manutentive del programma di manutenzione.

3. Il caso di studio *Pro-GET-onE*

Il progetto di ricerca Pro-GET-onE

Il caso studio trattato riguarda la riqualificazione di uno studentato universitario sito in località Zo-grafou, ad Atene, oggetto del progetto di ricerca *Pro-GET-onE*. Il *Pro-GET-onE* è stato finanziato all'interno del programma UE Horizon 2020 ed è coordinato dal Dipartimento di Architettura dell'Università degli Studi di Bologna. *Pro-GET-onE* ha come obiettivo la riqualificazione di un edificio urbano in termini strutturali per il miglioramento sismico, di risparmio energetico ed estetico-formale. Si tratta di un edificio degli anni '80 che ad oggi non ha subito interventi di rigenerazione urbana. Questa tipologia edilizia è in genere caratterizzata da spazi interni di ottime dimensioni con invece spazi esterni molto ridotti, ed impianti ormai obsoleti. L'involucro non è adeguato alle norme vigenti in termini di risparmio energetico e denota carenze manutentive e problematiche di carattere estetico-formale. La struttura portante non è rispondente alle vigenti norme tecniche sulla sicurezza sismica degli edifici.

La struttura portante dell'edificio esistente è stata realizzata con telai longitudinali in cemento armato collegati da travi in spessore, mentre l'involucro e le partizioni interne sono in muratura di laterizio. L'edificio si sviluppa su 4 piani fuori terra più uno seminterrato; la copertura è piana e non calpestabile. Il piano terra è sopraelevato rispetto al piano stradale ed è caratterizzato da una reception, uffici, aree comuni, 24 stanze singole e 2 stanze doppie. I piani superiori sono caratterizzati da uno schema analogo, ossia il piano tipo si compone di un lungo corridoio centrale longitudinale sul quale si affacciano 28 camere singole e due camere doppie. Agli estremi del corridoio sono ubicate le cucine comuni, mentre nella parte centrale da un lato è attrezzata un'area comune e dall'altro un'ulteriore cucina. I collegamenti verticali tra i vari piani, scale e ascensori costituiscono un nucleo centrale e sono collocati in posizione baricentrica rispetto alla pianta dell'edificio, in posizione simmetrica all'accesso principale della struttura (Fig. 2).



Fig. 2. Lo studentato di Atene nello stato attuale e *render* del progetto.



Fig. 3. Progetto: facciata principale, laterale e sezione trasversale © 2017, *Pro-GET-onE*.

Il *Pro-GET-one* prevede di riqualificare l'involucro realizzando una struttura staticamente indipendente esterna (esoscheletro) con diversi materiali (acciaio o l'alluminio), o semplicemente tramite la realizzazione di un isolamento esterno a cappotto (*External Thermal Insulation*) (Fig. 2 e Fig. 3).

La struttura di esoscheletro a telaio consente di estendere lo spazio delle unità abitative, sia come spazio interno (*extra-room*), che come spazio esterno (serre e terrazze).

In particolare, il progetto di rigenerazione prevede i seguenti interventi:

1. demolizione e ricostruzione del solaio piano di copertura;
2. inserimento di strutture in acciaio (*Get*) o alluminio (*Renovation*) giustapposte alle facciate;
3. schermature dell'involucro esistente con integrazioni di impianti trattamento aria;
4. installazione dell'isolamento esterno a cappotto;
5. opere di finitura.

Per quanto riguarda la copertura, il progetto prevede la demolizione e la ricostruzione completa in modo da inglobare anche le nuove strutture in esterne di acciaio. Sarà pavimentata e calpestabile. Il nuovo pacchetto di copertura prevede un lastrico solare calpestabile e termicamente isolato.

Analisi parametrica dei costi

Lo studio parte da un'analisi parametrica che mette a confronto il costo globale determinato per la ricostruzione dell'edificio e la sua gestione, facendo riferimento ad una vita utile di esercizio pari a 20 anni e quello relativo alla riqualificazione. Successivamente sulla base del progetto esecutivo è stato sviluppato il progetto di manutenzione/gestione per la determinazione dei costi di gestione e l'individuazione degli "elementi centrali" che complessivamente incidono significativamente sui tali costi. Si è poi proceduto ad individuare soluzioni tecnologiche alternative per tali elementi centrali, che comunque potessero garantire prestazioni analoghe e messe a confronto per verificare l'incidenza dei costi sulla gestione a parità di livello qualitativo da mantenere durante la vita utile.

La stima parametrica del Costo Globale è stata svolta con i seguenti dati:

- Dati di input dell'edificio:
- Superficie lorda=circa 4.300,00 m²
- Volume lordo=circa 8.700,00 m³
- Demolizione (vuoto x pieno) =20 €/m³
- Ricostruzione=1.800,00 €/m²
- Riqualificazione=900,00 €/m²
- Vita utile 20 anni

Il costo della demolizione completa, vuoto per pieno, C_D è:

$$C_D = 8.700,00 \text{ m}^3 \times 20 \text{ €/m}^3 = \text{€ } 174.000,00$$

Il costo della ricostruzione C_{RIC} :

$$C_{RIC} = 4.300,00 \text{ m}^2 \times 1.800,00 \text{ €/m}^2 = \text{€ } 7.740.000,00$$

Il costo della riqualificazione totale CI_{RIQ} è invece:

$$CI_{RIQ} = 4.300,00 \times 900,00 \text{ €/m}^2 = \text{€ } 3.870.000,00$$

Come già esposto il Costo Globale CG è caratterizzato da tre contributi: il Costo iniziale (CI); il Costo di Utilizzo (CU); il Costo finale (CF): $CG = CI + CU + CF$. Consideriamo che al termine della vita utile (20 anni) l'edificio, sulla base della qualità residua sarà sottoposto ad un nuovo ciclo di vita, pertanto il Costo finale in entrambi i casi (Ricostruzione o Riqualificazione) è uguale a zero. Consideriamo un tasso di sconto reale pari a $r = 0,1\%$.

Il Costo Iniziale della Ricostruzione ($CI_{RICOSTRUZIONE}$) è quindi:

$$CI_{RICOSTRUZIONE} = C_D + C_{RIC} = 174.000,00 + 7.740.000,00 = \text{€ } 7.914.000,00$$

Mentre il costo iniziale della Riqualificazione (CI_{RIQ}) è pari a:

$$CI_{RIQ} = \text{€ } 3.870.000,00$$

Consideriamo che per la riqualificazione i Costi di Utilizzo (CU) siano pari ad un valore parametrico annuo pari a 40,00 €/m². Nel caso della ricostruzione si suppone un nuovo edificio del tipo NZEB, ad energia quasi zero, per cui i Costi di Utilizzo siano inferiori del 40% e di quelli della riqualificazione:

$$CU_{RICOSTRUZIONE} = -60\% CU_{RIQUALIFICAZIONE}$$

per cui i Costi di Utilizzo sono i seguenti:

$$CU_{RIQUALIFICAZIONE} = 4.300,00 \times 40,00 = 172.000,00 \text{ €/anno}$$

$$CU_{RICOSTRUZIONE} = -60\% \times 172.000,00 = 103.200,00 \text{ €/anno}$$

Calcolo del Costo Globale CG.

L'attualizzazione dei costi al tempo 0 è pari al seguente valore, con $r = 0,1\%$. Il fattore di sconto è quello della norma ASTM E 917-05:

$$PV_{CU_{RIQ}} = 172.000,00 \cdot [(1+0,001)^{20} - 1] / [0,001 \cdot (1+0,001)^{20}] = \text{€ } 3.404.143,36$$

$$PV_{CU_{RIC}} = 103.200,00 \cdot [(1+0,001)^{20} - 1] / [0,001 \cdot (1+0,001)^{20}] = \text{€ } 2.042.486,02$$

Pertanto, il Costo Globale di Ricostruzione ($CG_{RICOSTRUZIONE}$) è determinato come segue:

$$CG_{RICOSTRUZIONE} = \text{€ } 7.914.000,00 + \text{€ } 2.042.486,02 = \text{€ } 9.956.486,00$$

Mentre il Costo Globale di Riqualificazione ($CG_{RIQUALIFICAZIONE}$) è pari a:

$$CG_{\text{RIQUALIFICAZIONE}} = 3.870.000,00 + 3.404.143,36 = \text{€ } 7.274.143,36$$

Dai calcoli sopra determinati, sulla base delle ipotesi relative ai costi parametrici, si evince che il Costo Globale per la Ricostruzione dello studentato universitario comporta un incremento di circa il 25% rispetto al Costo Globale per la Riqualificazione. Rimandiamo alla parte finale del presente lavoro, dopo l'esposizione del progetto di manutenzione/gestione, l'analisi, il confronto e i risultati dello studio.

Il progetto di manutenzione/gestione

Lo sviluppo del progetto di manutenzione/gestione parte dallo strumento fondamentale della disciplina del LCC, ossia la *Cost Breakdown Structure* (CBS) dell'edificio preso in esame, basata sulla scomposizione in classi di unità tecnologiche, unità tecnologiche e classi di elementi tecnici secondo la norma UNI 8290 – “Edilizia residenziale. Sistema tecnologico. Classificazione e terminologia”.

La struttura della CBS è articolata in tre sezioni:

- SEZIONE 1 – Scomposizione dell'organismo edilizio secondo la UNI 8290 e computazione degli interventi di riqualificazione per classi di elementi tecnici, per ognuno dei quali è definita la vita utile e quindi i tempi di sostituzione.
- SEZIONE 2 – Determinazione dei costi di gestione, riferiti a costi di sostituzione, costi di manutenzione straordinaria, costi di manutenzione ordinaria.
- SEZIONE 3 – Determinazione dell'incidenza percentuali dei costi di gestione della singola classe di unità tecnologica rispetto al costo totale di gestione e individuazione degli “elementi centrali”. Si definisce “Elemento centrale” la classe di unità tecnologica che ha un costo di gestione nella vita utile di riferimento superiore al 2% rispetto al costo totale di gestione dell'edificio.

Per tali elementi si possono studiare soluzioni progettuali alternative da confrontare attraverso l'applicazione della disciplina del LCC e quindi scegliere la soluzione che si ritiene più “conveniente”.

La Sezione 1 della CBS consente di determinare l'importo dei lavori necessari per la riqualificazione dell'edificio. Per la quantificazione delle singole voci è stato preso come riferimento il prezziario della regione Emilia Romagna del 2018 (DGR n. 512 approvata il 09/04/2018). Applicando l'IVA al 22% e aumentando l'importo complessivo del 30% per le attività di progettazione, direzione lavori, spese amministrative, spese di gara, rilievi e accertamenti, ecc. si è ottenuto il costo iniziale (CI) necessario per la riqualificazione dell'edificio. La Sezione 2 della CBS consente di determinare i costi di gestione dell'organismo edilizio, necessari per mantenere il livello di qualità stabilito dal progetto esecutivo.

In particolare sono stati definiti tre contributi:

1. costi di sostituzione;
2. costi di manutenzione straordinaria;
3. costi di manutenzione ordinaria.

I costi di sostituzione sono connessi alla vita utile delle singole classi di elementi tecnici in relazione alla vita utile di riferimento dell'edificio complessivo, in base al numero di cicli di sostitu-

zione. Quando la vita utile della classe di elementi tecnici è superiore alla vita utile di riferimento il numero di cicli di sostituzione è uguale a zero; mentre assume un valore intero diverso da zero quando essa è inferiore a quella di riferimento dell'organismo edilizio.

I costi di manutenzione straordinaria sono connessi alla curva di affidabilità della classe di elementi tecnici preso in esame e alla qualità di riferimento che si vuole mantenere nel tempo. Sono state individuate le classi di elementi tecnici oggetto di manutenzione durante la vita utile dell'organismo edilizio, come ad esempio l'involucro esterno, le pavimentazioni e per ognuno di essi è stata definita la curva di affidabilità per il periodo di riferimento e il livello di qualità nel tempo. I costi di manutenzione ordinaria (rientrano tra questi anche i costi relativi ai servizi di *Cleaning*), ossia gli interventi che hanno l'obiettivo di garantire la fruibilità dell'O.E. e di contrastare l'obsolescenza, riguardano tutti gli interventi che vengono eseguiti periodicamente e per singole classi di elementi tecnici sono stati quantificati per annualità. La somma dei costi di sostituzione, di manutenzione straordinaria e ordinaria definisce i costi di utilizzazione dell'O.E. (CU).

La Sezione 3 della CBS riguarda l'individuazione degli "elementi centrali". Lo studio ha messo in evidenza che gli elementi centrali che incidono sui costi di utilizzo sono prevalentemente le classi di elementi tecnici connesse con le finiture e le dotazioni impiantistiche che complessivamente incidono per circa l'83% del costo complessivo degli interventi di manutenzione ordinaria e straordinaria e di sostituzione. Per gli elementi centrali sono state elaborate le schede tecniche che andranno a far parte del piano di manutenzione. Al fine di ottimizzare i costi di gestione, per tali elementi sono state analizzate alternative di intervento.

Sono state definite soluzioni tecnologiche alternative per verificare se i relativi costi di manutenzione durante la vita utile, pur mantenendo il livello di qualità prefissato, fossero inferiori e quindi avere un costo globale (CG) dell'organismo edilizio (O.E.) inferiore.

L'applicazione della metodologia LCC per la definizione del Piano di Manutenzione

Il piano di manutenzione elaborato per il caso studio in esame è stato strutturato sulla base dei contenuti della normativa vigente in Italia per la realizzazione di un'opera pubblica (D.lgs. 18/04/2016 n. 50 s.m.i.; norme UNI [13]). In particolare è stato concepito come un elaborato specialistico del progetto esecutivo dell'intervento di riqualificazione dell'O.E. Pertanto esso si compone delle seguenti parti:

1. Manuale di manutenzione
2. Sotto programma degli interventi
3. Schede di affidabilità delle classi di elementi tecnici.

1. Il manuale di manutenzione

Il manuale di manutenzione si compone delle seguenti parti: la scheda anagrafica e le schede tecniche. La scheda anagrafica sintetizza tutti i dati principali dell'edificio. Si parte dai dati più generali che riguardano l'inquadramento dell'immobile quali (localizzazione e destinazione d'uso) per poi passare ai dati relativi al progetto in oggetto del nostro caso studio (anno di realizzazione del progetto, progettista, impresa realizzatrice etc..) e ad elencare dati catastali e vincoli

DEMOLIRE O RIQUALIFICARE? LIFE CYCLE COST ANALYSIS E PIANO DI MANUTENZIONE PER IL CASO DI STUDIO PRO-GET-ONE

CATEGORIE		PROCEDIMENTI		ELEMENTI TECNICI		COSTI DI REALIZZAZIONE					COSTI DI SOSTITUZIONE					COSTI DI GESTIONE DEL SOTTOSISTEMA NEL C.D.V.		INCIDENZA % SU TOTALE COSTI DI GESTIONE	RISULTATO (INC. > 2.00%)	
CODICE CATEGORIA	SPECIFICA CATEGORIA	CODICE PROCEDIMENTI	SPECIFICA PROCEDIMENTI	CODICE ELEMENTI TECNICI	SPECIFICA ELEMENTI TECNICI	TEMPO DI SOSTITUZIONE (O)	CICLI NEL PERIODO DI RIF. (DI ANNI)	COSTO UNITARIO DI REALIZZAZIONE (€/mq)	QUANTITA'	COSTO COMPLESSIVO DI REALIZZAZIONE (€)	COSTO UNITARIO DI SOSTITUZIONE X NR. CICLI	COSTO COMPLESSIVO DI SOSTITUZIONE (€)	COSTO MANUTENZIONE STRAORDINARIA (€)	COSTO MANUTENZIONE ORDINARIA (€)	COSTO COMPLESSIVO DI SOSTITUZIONE NEL C.D.V. (€)	INCIDENZA % SU TOTALE COSTI DI GESTIONE	RISULTATO (INC. > 2.00%)			
FN	OPERE DI FINITURA	FNA	Pavimentazione interna	FNA11	Pavimento in lastre di legno di rovere	30	1	€	92,00	177,00	€	16.284,00	€	92,00	16.284,00	€	85.844,77	13,36	elemento centrale	
				FNA13a	Pavimento in gres ceramico	15	2	€	58,00	230,00	€	11.524,00	€	117,00	2.180,00	€	127.704,00	194.841,44	20,26	elemento centrale
				FNA13b	Pavimento in ceramica	15	2	€	41,77	75,00	€	3.262,35	€	87,50	6.562,50	€	40.870,00	47.431,48	6,21	elemento centrale
				FNA13c	Lastre di marmo	15	2	€	130,00	96,00	€	12.480,00	€	240,00	24.000,00	€	53.563,00	78.521,62	10,28	elemento centrale
				FNA13f	Pavimento in gres masso	15	2	€	37,20	11,00	€	409,60	€	74,00	819,20	€	5.235,00	6.074,32	0,79	elemento trascurabile
				FNA13g	Pavimento in gres masso	15	2	€	37,20	11,00	€	409,60	€	74,00	819,20	€	5.235,00	6.074,32	0,79	elemento trascurabile
		FNS	Tasteggiature	FNSA	Integrazione su elementi esistenti con sfioratori	10	3	€	8,03	242,70	€	2.688,10	€	26,70	6.503,30	€				
				FNSB	Integrazione con sfioratori a pedale	5	6	€	5,83	190,14	€	9.005,81	€	30,30	57.634,44	€				
		FNB	Rivestimenti interni	FNB12	Zoccolino a pavimento	20	1,5	€	6,50	58,82	€	3.973,40	€	10,37	5.906,18	€				
				FNB13	Rivestimento in doghe di legno massiccio	20	1,5	€	19,00	521,50	€	9.950,00	€	28,50	14.865,00	€				
		TOTALE COSTI DI REALIZZAZIONE										€	512.016,22							
		TOTALE COSTI DI SOSTITUZIONE										€	283.843,81							
TOTALE COSTI DI MANUTENZIONE STRAORDINARIA										€	0,00									
TOTALE COSTI DI MANUTENZIONE ORDINARIA										€	480.250,00									
TOTALE COSTI DI GESTIONE DEL SISTEMA ESISTENTE										€	754.039,03									
INCIDENZA DEGLI ELEMENTI CENTRALI I.R.A. COSTO TOTALE DI GESTIONE																	74,52			

CATEGORIE		PROCEDIMENTI		ELEMENTI TECNICI		COSTI DI REALIZZAZIONE					COSTI DI SOSTITUZIONE					COSTI DI GESTIONE DEL SOTTOSISTEMA NEL C.D.V.		INCIDENZA % SU TOTALE COSTI DI GESTIONE	RISULTATO (INC. > 2.00%)
CODICE CATEGORIA	SPECIFICA CATEGORIA	CODICE PROCEDIMENTI	SPECIFICA PROCEDIMENTI	CODICE ELEMENTI TECNICI	SPECIFICA ELEMENTI TECNICI	TEMPO DI SOSTITUZIONE (O)	CICLI NEL PERIODO DI RIF. (DI ANNI)	COSTO UNITARIO DI REALIZZAZIONE (€/mq)	QUANTITA'	COSTO COMPLESSIVO DI REALIZZAZIONE (€)	COSTO UNITARIO DI SOSTITUZIONE X NR. CICLI	COSTO COMPLESSIVO DI SOSTITUZIONE (€)	COSTO STRAORDINARIA MANUTENZIONE (€)	COSTO ORDINARIA MANUTENZIONE (€)	COSTO DI GESTIONE DEL SOTTOSISTEMA NEL C.D.V. (€)	INCIDENZA % SU TOTALE COSTI DI GESTIONE	RISULTATO (INC. > 2.00%)		
FNB	SISTEMAZIONE AREA ESTERNA	FNB1	Pavimentazione esterni	FNB11	Pavimento per esterni in porfido	15	2	€	50,50	62,50	€	3.174,00	€	101,00	6.348,90				
				FNB12	Pavimento per esterni in marmo antiscivolo in di	50	0	€	22,25	291,70	€	6.496,00	€	0,00	0,00				
		FNB2	Vedute	FNB21	Sepsi	50	0	€	18,00	180,00	€	1.384,00	€	0,00	€	35.083,20	35.083,20	21,60	elemento centrale
				FNB22	Alberi	50	0	€	54,50	18,00	€	945,00	€	0,00	€	13.995,00	13.995,00	8,60	elemento centrale
				FNB23	Tappeti erbosi	10	3	€	8,00	338,00	€	2.700,00	€	24,00	€	84.998,20	91.180,20	57,40	elemento centrale
				FNB24	Terra da coltivo	10	3	€	13,84	338,00	€	4.527,96	€	40,20	€	13.583,98			
TOTALE COSTI DI REALIZZAZIONE										€	20.825,97								
TOTALE COSTI DI SOSTITUZIONE										€	28.044,84								
TOTALE COSTI DI MANUTENZIONE STRAORDINARIA										€	0,00								
TOTALE COSTI DI MANUTENZIONE ORDINARIA										€	134.077,51								
TOTALE COSTI DI GESTIONE DEL SISTEMA ESISTENTE										€	160.120,38								

Fig. 4. Stralcio della CBS articolata in 3 sezioni: SEZIONE 1 per la determinazione dei costi di riqualificazione; SEZIONE 2 per la determinazione dei costi di manutenzione e sostituzione; la SEZIONE 3 per l'individuazione degli elementi centrali.

che sussistono sull'immobile. Sono riportati i dati tecnici che quantificano superficie lorda, netta, catastale etc... e infine si illustra in modo tabellare se le documentazioni, prove, certificazioni relative all'immobile sono disponibili, se sono complete o meno o inesistenti. La scheda anagrafica contiene inoltre le piante i prospetti e le sezioni dell'edificio con i codici che identificano le classi di elementi tecnici identificate con la CBS, al fine di avere una lettura univoca della documentazione prodotta. Le schede tecniche, come già detto in precedenza, sono state compilate per le classi di elementi tecnici che hanno avuto un'incidenza superiore al 2% rispetto al costo complessivo di gestione, determinati con la CBS. La scheda tecnica è una sorta di carta di identità di ciascun elemento e contiene tutti i dati e le informazioni che consentono di mantenere nel tempo la qualità prefissata del bene. Si parte quindi dalla descrizione del sub-sistema con le sue specifiche tecniche che andranno completate in fase di esecuzione con la scelta del prodotto acquistato sul mercato; per procedere alla descrizione delle patologie riscontrabili con associate le strategie manutentive riscontrabili per ognuna e la loro frequenza di intervento. Successivamente si definiscono i tipi di intervento, le modalità di esecuzione e la loro frequenza.

2. Sotto programma degli interventi
 È il programma complessivo degli interventi delle classi di elementi tecnici contenuti nel manua-



Fig. 5. a) e b) – 5 a) Stralcio del sottoprogramma degli interventi di manutenzione per le classi di elementi tecnici contenuti nel manuale di manutenzione. 5 b) Esempio di scheda di affidabilità per le tinteggiature interne.

le di manutenzione e per ogni elemento riporta le strategie manutentive e la loro frequenza. La Fig. 5 a) riporta uno stralcio del sottoprogramma.

3. Schede di affidabilità delle classi di elementi tecnici

Per ogni elemento centrale, individuato con la CBS, sono state definite le schede di affidabilità (Fig. 5 b). La scheda riporta la curva dell'obsolescenza dell'elemento tecnico/sub-sistema, ossia l'andamento della sua qualità durante il ciclo di vita utile in assenza di manutenzione, le curve modificate applicando le diverse strategie manutentive e il livello minimo di qualità richiesto per l'organismo edilizio. Nelle schede di affidabilità sono state individuate più di una strategia manutentiva (sia ordinaria che straordinaria) e i relativi costi, attualizzandoli. Definite le incidenze rispetto al costo complessivo durante la vita utile è stato possibile individuare la strategia migliore in relazione agli obiettivi attesi sulla base del rapporto costo di intervento / qualità.

Il piano di manutenzione così elaborato accompagna l'organismo edilizio dalla fase di progettazione esecutiva fino alla sua dismissione. È uno strumento dinamico che aggiornato ed integrato in tutte le sue parti durante il processo edilizio, consente di effettuare le scelte gestionali che ottimizzano il rapporto costi / benefici.

4. Demolire o ricostruire: i risultati del caso di studio *Pro-GET-onE*

Lo studio di riqualificazione dell'edificio in esame è stato condotto applicando due tecnologie distinte: quella dell'acciaio (parte *get*) e l'altra più innovativa dell'alluminio (parte *renovation*). Tali tecnologie sono state applicate su metà edificio per avere un confronto dei due risultati ottenuti. Tale confronto è reso possibile dalla simmetria dell'organismo edilizio rispetto al collegamento verticale centrale. Mettendo a confronto le stime definite nel paragrafo 3.2 con i progetti elaborati utilizzando le due tecnologie si possono dedurre le considerazioni di seguito esposte. Innanzi tutto si riportano di seguito i valori delle stime effettuate nel paragrafo 3.2 per la demolizione con ricostruzione e per la riqualificazione totale dell'edificio oggetto di indagine:

$$CG_{\text{RICOSTRUZIONE}} = \text{€ } 9.956.486,02$$

$$CG_{\text{RIQUALIFICAZIONE}} = \text{€ } 7.274.143,36$$

Riportiamo ora i risultati derivanti dalla progettazione di riqualificazione dell'edificio con particolare riferimento agli aspetti sismici, energetici e formali.

1. Riqualificazione dell'edificio con la tecnologia GET- (acciaio).

I costi iniziali di riqualificazione utilizzando la tecnologia dell'acciaio, ottenuti dall'elaborazione della SEZIONE 1 della CBS estesi a tutto l'edificio ammontano a circa € 2.000.000,00 con un intervento pari al 60% della riqualificazione totale ha un costo di circa 465 €/m², perché nel progetto non è stato previsto di rimuovere tutta l'impiantistica dell'edificio, ma solo di integrarla con quella prevista nella nuova costruzione. Quindi anche una parte delle finiture interne non viene sostituita.

Pertanto:

$$CI_{\text{RIQUALIFICAZIONE GET-}} = \text{€ } 2.000.000,00$$

I costi di utilizzazione sono caratterizzati dalle seguenti macro voci derivanti dalla SEZIONE 2 della CBS:

- costi di sostituzione (elementi tecnici che hanno un ciclo di vita utile inferiore a 20 anni);
- costi di manutenzione straordinaria;
- costi di gestione tecnica (manutenzione ordinaria, servizi di *cleaning*, ...) ed amministrativa annuali.

I costi di sostituzione durante il ciclo di vita utile attualizzati rispetto ai costi iniziali ammontano a circa € 275.000,00. I costi di manutenzione straordinaria durante il ciclo di vita utile attualizzati rispetto ai costi iniziali sono circa € 405.000,00. Mentre i costi di gestione annuali pari ad 180.000,00 €/anno attualizzati rispetto ai costi iniziali sono circa € 3.560.000,00

Pertanto:

$$CU_{\text{RIQUALIFICAZIONE GET-}} = \text{€ } 275.000,00 + \text{€ } 405.000,00 + 3.560.000,00 = \text{€ } 4.240.000,00$$

Da cui si ottiene il costo globale della soluzione progettuale con la tecnologia GET- (acciaio):

$$\begin{aligned} CG_{\text{RIQUALIFICAZIONE GET}} &= CI_{\text{RIQUALIFICAZIONE GET}} + CU_{\text{RIQUALIFICAZIONE GET}} \\ &= \text{€ } 2.000.000,00 + \text{€ } 4.240.000,00 \\ &= \text{€ } 6.240.000,00 \end{aligned}$$

2. Riqualificazione dell'edificio con la tecnologia *Renovation* (alluminio).

I costi iniziali di riqualificazione utilizzando la tecnologia dell'acciaio, ottenuti dall'elaborazione della SEZIONE 1 estesi a tutto l'edificio ammontano a circa € 2.250.000,00 con un intervento pari al 60% della riqualificazione totale, ha un costo di circa 525 €/m².

Come per la progettazione con la tecnologia *get-hard* anche in questo caso sono stati previsti gli stessi interventi di cui sopra.

Pertanto:

$$CI_{\text{RIQUALIFICAZIONE RENOVATION}} = \text{€ } 2.250.000,00$$

I costi di utilizzazione dell'edificio sono gli stessi di quelli determinati con il progetto GET. Pertanto:

$$CU_{\text{RIQUALIFICAZIONE RENOVATION}} = 275.000,00 + \text{€ } 405.000,00 + 3.560.000,00 = \text{€ } 4.240.000,00$$

Da cui si ottiene il costo globale della soluzione progettuale con la tecnologia *Renovation*:

$$\begin{aligned} CG_{\text{RIQUALIFICAZIONE RENOVATION}} &= CI_{\text{RIQUALIFICAZIONE RENOVATION}} + CU_{\text{RIQUALIFICAZIONE RENOVATION}} \\ &= \text{€ } 2.250.000,00 + \text{€ } 4.240.000,00 \\ &= \text{€ } 6.490.000,00 \end{aligned}$$

Mettendo a confronto i risultati ottenuti con la stima parametrica e con la progettazione della riqualificazione dell'edificio con le due tecnologie *Get-Hard* e *Renovation* possiamo sviluppare le seguenti riflessioni.

5. Conclusioni e futura ricerca

Le soluzioni tecnologiche adottate per la progettazione della riqualificazione dello studentato comportano una variazione dei costi iniziali di circa il 5% a fronte degli stessi costi di gestione durante il ciclo di vita utile. Il costo di gestione dell'edificio durante la vita utile di 20 anni calcolato con la CBS ammonta a circa € 4.240.000,00 e determina un costo parametrico di circa 50 €/m² di cui circa l'80% è assorbito dai costi di gestione ordinaria annuale, che riguardano prevalentemente i servizi di *cleaning* e la fornitura di energia. Pertanto una buona performance dell'organismo edilizio dal punto di vista energetico incide significativamente sul costo globale a fronte dei maggiori costi iniziali per rendere efficiente l'involucro e per garantire elevati livelli di performance degli impianti adeguati all'efficientamento energetico.

Il costo di demolizione e ricostruzione dell'organismo edilizio oggetto di studio è maggiore di quello relativo alla riqualificazione di circa il 25% e a prima vista si potrebbe dedurre che a fronte di una spesa relativamente superiore, converrebbe sostituire l'edificio perché comporterebbe notevoli benefici dal punto di vista dei costi di gestione, in quanto sicuramente più performante e poco energivoro. A questo punto però si possono introdurre alcune considerazioni inerenti alla sostenibilità ambientale dell'intervento.

Come detto al paragrafo 2.1, ai costi di smaltimento delle demolizioni degli organismi edilizi esistenti, che comprendono lo smantellamento, la rimozione degli elementi che non hanno ancora raggiunto la fine della loro vita utile, il trasporto e il riciclaggio, vanno aggiunti i costi delle emissioni di gas ad effetto serra, ossia il costo del valore monetario del danno ambientale causato dalle emissioni di CO₂. Ciò significa che al costo di sostituzione di un organismo edilizio vanno aggiunti i costi ambientali derivanti dalle emissioni di CO₂ in atmosfera. Il gruppo di lavoro che è coinvolto nel *Pro-GET-onE* sta lavorando per la determinazione di tali costi attraverso l'applicazione della disciplina del LCC per determinare quale sia la loro di incidenza rispetto al costo complessivo di sostituzione.

Quindi alla domanda iniziale “Demolire o riqualificare?” certamente non è possibile dare una risposta univoca in quanto in generale la scelta dipende da diversi fattori quali: la specificità e il ruolo che l’organismo ha nel contesto in cui è inserito; la fattibilità dell’intervento; gli aspetti patrimoniali; etc. Appare chiaro, tuttavia, che per un certo patrimonio edilizio, ed in particolare per quello degli anni ‘70 e ‘80, la scelta della rigenerazione urbana attraverso il recupero può garantire la sostenibilità per le generazioni future sia dal punto di vista economico che della qualità e sostenibilità ambientale.

Riferimenti bibliografici

- [1] EU Report. (2010) Housing statistics in the European Union.
- [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 solution in the housing stock of Bologna. *Energy and Buildings* 156: 327-342, Strojnikski.
- [3] ASTM E 917 Standard Practice for measuring Life Cycle Cost of Buildings and Building Systems.
- [4] ISO 15686- 5 Buildings and constructed assets – Service life planning: Part 5, Life-cycle costing.
- [5] Bragadin MA, Boiardi L, Santoni L. Global Cost Analysis for energy refurbishment of Social Housing, ISTE 2014 Proceedings. Maggioli, Rimini, 2014.
- [6] UNI EN 13306:2001 Manutenzione Terminologia.
- [7] UNI 11063:2017. Manutenzione – Definizione di manutenzione ordinaria e straordinaria.
- [8] Le A, Domingo N, Rasheed EO, Park KS. Building Maintenance Cost Planning and Estimating: a Literature review. Proceeding of the 34th Annual ARCOM Conference, 3-5 September 2018, Belfast, UK.
- [9] Royal Institution of Chartered Surveyors (RICS) (2014). New rules of measurement. Order of cost estimating and planning for building maintenance works. RICS, UK.
- [10] Royal Institution of Chartered Surveyors (RICS) (2016). Life Cycle Costing. 1st edition RICS, UK.
- [11] Douglas C. EMIT optimization: getting more out of existing equipment for less. *RISK World* (31) pp. 4-5, 2017.
- [12] Mirghani MA. Application and implementation issues of a framework for costing planned maintenance. *Journal of Quality in Maintenance Engineering*. Vol. 9 No. 4, 2003.
- [13] UNI 10874:2000 – Manutenzione dei patrimoni immobiliari – Criteri di stesura dei manuali d’uso e di manutenzione; UNI 10604:1997 – Manutenzione – Criteri di progettazione, gestione e controllo dei servizi di manutenzione di immobili; UNI 10147:1993 Manutenzione – Terminologia; UNI 10951:2001 Sistemi informativi per la gestione della manutenzione dei patrimoni immobiliari – Linee guida.