

Cost-optimal analysis of building renovation strategies and the assesment of the “renovation potential” of a built asset

Giorgio Pansa^{a*}, Enrico De Angelis^a

^a *Dipartimento ABC, Politecnico di Milano, Via Ponzio 31, Milano, 20133, Italia*

Highlights

In the following paper, we shortly present a research line, started to find methods to optimize design choices and actually focused on renovation strategies. The aim of the presented work is to propose a method for the assessment of different renovation options for existing buildings and the measure of what is here called the “renovation potential” of a built asset, i.e. the maximum possible saving during a reference service life of a building, obtainable through a renovation, and the “cost-optimal renovation solution”, i.e. the best (most sustainable) solution that reaches the renovation potential.

Abstract

Different building renovation options have been analyzed, both for energy performances (evaluated adopting the quasi-steady-state calculation method, adopted from national and local regulations, ISO 13790) and for cost of interventions. The economic convenience of different options has been evaluated through different parameters. Between all of them, the Global Cost of the intervention during the predicted economic life cycle appears to be the most suitable parameter to establish the renovation potential of a building and/or a built asset.

Keywords

Cost-optimality, Building renovation, Global cost, Economic analysis, Primary energy use

1. INTRODUZIONE

La riqualificazione del parco edilizio costruito sembra essere una delle più interessanti opportunità per una trasformazione positiva dell'intero sistema, in termini di riduzione dell'impatto umano sull'ambiente (è ormai largamente risaputo il ruolo centrale del settore delle costruzioni nella riduzione delle emissioni nocive [1]), di ripresa del settore delle costruzioni e di creazione di nuovi posti di lavoro, in numerosi Paesi della OCSE [2]. Allo stesso modo, tuttavia, il comparto edilizio ha dimensioni talmente vaste e le risorse necessarie per un suo profondo rinnovamento sono talmente grandi da rendere inevitabilmente necessaria un'attenta pianificazione delle strategie e degli sforzi necessari, così da ottimizzare al massimo gli investimenti messi in atto. Il lavoro presentato è la continuazione di precedenti altri articoli, presentati dagli Autori in differenti contesti [3-5]. La metodologia proposta è stata applicata a diverse categorie di edificio, fra le quali un edificio residenziale di edilizia popolare, diverse abitazioni monofamiliari e alcuni edifici di proprietà pubblica (scuole, palestre, municipi). Tutti i casi analizzati richiedevano una ragionevole riqualificazione energetica, nell'ottica di pianificare strategie di interventi economicamente sostenibili. L'ottimizzazione delle soluzioni costruttive e

* Corresponding author. Tel.: +39-02-23-99-60-18; fax: +39-02-23-99-60-20; e-mail: giorgio.pansa@polimi.it

dei costi è stata possibile grazie alla stretta collaborazione con alcune imprese edili bresciane, facenti capo alla Rete Sistema Abitare [6], con le quali si è intrapreso un percorso di ottimizzazione delle scelte costruttive.

Il caso di studio qui presentato (caso 1) è rappresentato da un edificio residenziale (condominio), allacciato ad una rete di teleriscaldamento. L'edificio, realizzato nella seconda metà degli anni '70, presenta alcune caratteristiche ritenute interessanti ai fini dello studio: la presenza di un sistema di teleriscaldamento ("premiato" con un coefficiente di conversione in energia primaria f_{EP} pari a 0.85) permette di concentrare l'attenzione principalmente sull'involucro. L'acqua calda sanitaria è prodotta tramite boiler elettrici: tale voce non viene quindi presa in considerazione. L'edificio è caratterizzato da un rapporto di forma medio ($S/V = 0.46 \text{ m}^{-1}$) e da un involucro non isolato (U media dell'intero involucro = $1.46 \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$). La superficie utile (A_c) dell'edificio è pari a 2046 m^2 (l'edificio consta di 6 piani fuori terra, ciascuno ospitante 4 appartamenti). Il Volume lordo riscaldato è pari a $7'984 \text{ m}^3$ e l'area delle chiusure trasparenti è pari a 351 m^2 .

Si hanno inoltre a disposizione i dati di consumo da bollette delle ultime 3 stagioni di riscaldamento, così come i relativi dati di Gradi Giorno (ottenuti dal fornitore di energia termica). La spesa iniziale annua per il riscaldamento è pari a 921 € (per il caso 1) e 1'176 € (per il caso 2). Il costo del combustibile è pari a 0.078 €/kWh (caso 1) e 0.080 €/kWh (caso 2). Le finestre sono state sostituite all'inizio degli anni 2000, installando un serramento in PVC a camera tripla e un doppio vetro normale. Si considera, quindi, un teorico caso (denominato caso 2) identico al precedente ma con i serramenti originari, non sostituiti (caratterizzati quindi da infissi in legno e vetro singolo) e impianto di riscaldamento alimentato da una caldaia centralizzata a gas metano. La struttura portante in CA dell'edificio rappresenta un caso "esemplare" per quanto riguarda i ponti termici e la loro correzione. A tale scopo, tutti i ponti termici dell'involucro sono stati opportunamente calcolati attraverso una modellazione a elementi finiti, in 2D. Inoltre, sono state predisposte una serie di schede utilizzate, di concerto con i costruttori, per determinare i costi di correzione dei ponti termici e proporre così delle soluzioni ottimizzate dal punto di vista delle prestazioni e dei costi.



Figura 1. Vista dell'edificio (lato sud-est).

2. METODOLOGIA

Gli interventi di riqualificazione studiati sono stati rappresentati in uno spazio Pareto-ottimale, dove abbiamo scelto di considerare i *costi degli interventi di riqualificazione*, rapportati alla superficie utile di pavimento

(€/m²), in ordinata, rispetto all'indicatore di *energia primaria per il riscaldamento*, EP_H, espresso in kWh/m²/a, in ascisse.

n°		Area int.	Costo int.	Costo/Ac	EPh, caso1	EPh, caso 2
		m ²	€	€/m ²	kWh/m ² /y	kWh/m ² /y
1	ETICS 8 cm EPS	1'850	196'773	92	103.6	156.5
2	ETICS 16 cm EPS	1'850	232'790	109	96.0	146.5
3	suspended ground floor 8 cm EPS	426	31'121	15	-	-
4	suspended ground floor 16 cm EPS	426	37'835	18	-	-
5	Pitched Roof PU 12 cm	412	59'080	28	158.4	234.9
6	Flat roof 10 cm EPS	400	78'307	41	159.2	232.6
7	Flat roof 15 cm EPS	400	83'247	44	157.9	230.8
8	Replacement windows	351	119'269	56	138.9	185.1
9	Replacement glazing	351	45'056	21	151.4	
10	1+3	1'850	221'600	104	90.7	139.4
11	2+4	1'850	264'331	124	81.1	126.9
12	1+3+16	1'850	229'312	107	90.3	138.9
13	2+4+16	1'850	272'042	128	80.5	126.0
14	ETICS 12 cm (filled bricks)	1'850	276'888	130	108.3	162.9
15	ETICS 18 cm (filled bricks)	1'850	336'701	158	103.1	155.9
16	balconies insulation	153	7'711	4	-	-
17	new balconies	153	120'806	57	-	-
18	prefabricated balconies	153	104'581	49	-	-
19	logge insulation	185	9'324	4	-	-
20*	AAC insulation panels 5 cm	2'363	108'682	52	136.3	201.4
21*	AAC insulation panels 8 cm	2'363	128'021	63	130.1	193.5
22*	mw 8 cm + AAC wall 8 cm	2'363	169'207	85	124.6	186.6
23*	mw 4 cm + AAC wall 8 cm	2'363	153'612	75	127.8	190.4
24*	metal frame+8 cm mw+plasterb.	2'363	189'093	93	134	198.8
25*	metal frame+8 cm mw+plasterb.	2'363	170'870	84	125.7	187.4
26*	metal frame+8 cm mw+plasterb.	2'363	188'916	93	134	198.8
27*	insulation plasterboard 8 cm	2'363	131'263	64	125.7	187.4
28*	wood fibre 4 cm	2'363	106'486	51	140	206.5
29*	wood fibre 8 cm	2'363	170'653	84	130.1	193.5
30*	12 cm (filled bricks)	2'363	274'681	135	126.9	189.2
31*	18 cm (filled bricks)	2'363	348'761	176	123.5	185.1
32	Blowing ceiling insulation 20 cm	410	24'260	11	158.9	232.1
33	Blowing cavity wall 9 cm (cellulose)	1'850	45'085	21	139.1	204.8
C.1*	27*+32+3+9+16+thermostatic valves	-	258'117	126	61.3	-
C.2	12+32	-	253'572	119	79.8	-
C.3	12+32+thermostatic valves	-	278'572	131	68.8	-
C.4	12+32+8 (n=0.5)	-	372'841	175	61.8	-
B.1	12+32+9+thermostatic valves	-	323'628	152	55.4	-
B.2	12 (12 cm)+32+9+thermostatic valves	-	340'426	160	49.5	-
B.3	12+32+8 (n=0.3)	-	372'841	175	48.6	-
B.4	12+32+8 (n=0.3)	-	372'841	175	-	75.4
B.5	12+32+8+condensing heat gen+thermostatic valves	-	431'019	202	-	53.7
A.1	13+32+8	-	415'572	195		64.1
A.2	13+32+8+condensing heat gen+thermos	-	472'060	214		45.7
A.3	13+7+8+ thermostatic valves	-	465'520	218	29.2	-
A.4	13+32+8+thermostatic valves	-	440'572	207	29.2	-

Tabella 2. Descrizione degli interventi analizzati. I valori della 5^a colonna sono comprensivi degli oneri, IVA e sconti. Gli interventi con l'asterisco prevedono una superficie utile Ac inferiore rispetto agli altri casi (isolamento dall'interno).

Diverse altre rappresentazioni sarebbero state possibili: sull'asse delle prestazioni potrebbero, ad esempio, essere rappresentati il consumo di energia finale, il consumo di energia finale "effettivo", il consumo di energia totale (considerando quindi anche il consumo relativo alla produzione di acqua calda sanitaria), così come anche il risparmio di energia primaria per il riscaldamento o il risparmio in termini di spesa annuale per il riscaldamento. Allo stesso modo, sull'asse delle ordinate si potrebbero rappresentare anche i costi per alloggio

o i costi dell'investimento (€). La creazione di tale grafico permette, innanzitutto, di scegliere l'intervento ritenuto più idoneo, a seconda dell'obiettivo (il raggiungimento di una prefissata classe energetica, il mantenimento del costo dell'intervento al di sotto di valori limite, la percentuale di risparmio di energia desiderata). È intuitivo affermare che gli interventi più convenienti sono quelli caratterizzati dal minor rapporto fra i costi dell'intervento e i risparmi conseguibili (chiamiamo convenienza iniziale il rapporto €/kWh/y, con $y=1$), ovvero quelli che permettono di avere tratti caratterizzati da pendenza minore.

Rapportando il costo dell'intervento e il risparmio annuale conseguito (in termini di spesa di riscaldamento) si ottiene un'indicazione circa il tempo di ritorno semplice (y). Questo viene individuato come l'angolo delle rette, rappresentate in Figura 3, dove si è scelto di rappresentare il risparmio annuale "realistico", in termini di spesa di energia finale. Il risparmio annuale "realistico" $\square \text{€}/(\text{m}^2\text{a})$ è ottenuto considerando il costo del vettore energetico (c_{comb}), un fattore di correzione (f_{corr}) fra i consumi calcolati e i consumi reali, da bolletta, pari a 0.70 e il fattore di conversione in energia primaria ($f_{EP} = 0.85$). La relazione fra la convenienza iniziale e il tempo di ritorno semplice è esplicitata direttamente in figura.

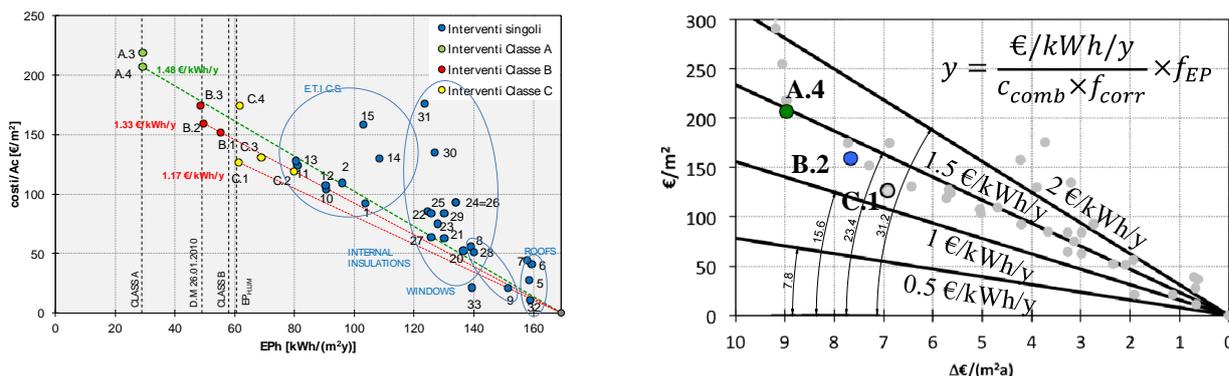
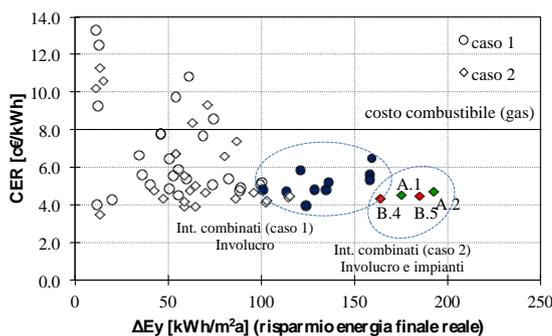


Figura 2. Individuazione dei singoli interventi di riqualificazione e delle loro combinazioni, in un diagramma costi-prestazioni.

Figura 3. Individuazione del tempo di ritorno semplice (in anni) e delle rette di convenienza iniziale (€/kWh/y).

Quanto finora visto non tiene conto dell'andamento nel tempo ($t = 0$). Per poter operare una corretta valutazione economica di interventi di miglioramento dell'efficienza energetica occorre fare riferimento a specifici parametri, che permettano di considerare l'intero ciclo di vita ($t > 0$), nonché le eventuali sovvenzioni ottenute. Un utile indice economico è il Costo dell'Energia Risparmiata, CER, espresso in c€/kWh (in inglese, Cost of Conserved Energy, CCE). Tale parametro rappresenta l'esborso finanziario che l'utente deve sostenere per risparmiare una unità di energia. Un intervento diviene pertanto conveniente se tale parametro risulta essere inferiore al costo del combustibile utilizzato per produrre la stessa unità di energia (ovvero, il kWh).

Un ulteriore indice, il rapporto Benefici/Costi (B/C), espresso in valore assoluto, viene introdotto in letteratura. I benefici (B_i) corrispondono ai risparmi economici realizzati annualmente sia grazie al miglioramento tecnico raggiunto per mezzo dell'intervento sia grazie ad una possibile componente economica (non sempre presente) variazione del prezzo in caso di passaggio ad un combustibile più economico. Un intervento risulta essere conveniente se tale parametro risulta essere superiore a 1.



$$CER = \frac{\sum_{i=0}^n [R_d (C - S)]_i}{\sum_{i=1}^n (R_d \times E_{risp})_i} \times 100 \quad \frac{B}{C} = \frac{\sum_{i=0}^n (B_i \times R_{d(i)})_i}{\sum_{i=0}^n (C_i \times R_{d(i)})_i}$$

$$FCC_n = \left[\sum_{i=0}^n (B_i - C_i) * R_d(i) \right]$$

Figura 4. Convenienza economica degli interventi (a sinistra), valutata attraverso il CER (periodo = 20 anni) e formule utilizzate per l'analisi finanziaria (a destra), dove: C sono i costi sostenuti; S sono le sovvenzioni ottenute (ad es., detrazioni fiscali del 65%); B_i sono i benefici ottenuti; E_{risp} è l'energia risparmiata e R_d è il tasso di attualizzazione, mentre i rappresenta l'anno i-esimo.

Per verificare la fattibilità e la convenienza economica di un intervento di riqualificazione è inoltre possibile fare riferimento all'analisi dei Flussi di Cassa Cumulati (FCC), espressi in euro (€), adottando dunque il metodo del flusso di cassa scontato (Discounted Cash Flow, DCF). Tale strumento permette di determinare diversi parametri, quali il VAN, il payback (semplice o attualizzato), IR e TIR, descritti in numerosi testi in letteratura. Nei calcoli finanziari si è adottato un tasso di aumento dell'energia pari al 5% (valore nominale) e un tasso di attualizzazione pari al 2.94% (valore reale). La Direttiva Europea 2010/31/UE [7] e il regolamento delegato UE N. 244/2012 [8] hanno introdotto il concetto di livelli ottimali in funzione dei costi, istituendo un quadro metodologico comparativo per calcolare tali livelli per i requisiti minimi di prestazione energetica degli edifici e degli elementi edilizi. Il parametro da controllare è il costo globale, espresso in euro (€), durante il periodo di calcolo, che viene fissato convenzionalmente essere pari a 30 anni (per gli edifici residenziali e pubblici) e pari a 20 anni (per gli edifici commerciali non residenziali). Il costo globale viene definito 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, se applicabili. I diversi costi sono così sommati fra loro e a essi è applicato il tasso di sconto, mediante un fattore di sconto, così da esprimerli in termini di valore nell'anno iniziale, con l'aggiunta del valore residuo attualizzato (tralasciato nelle nostre analisi). Fra i costi di gestione si considerano i costi energetici (è questo il risultato del calcolo di prestazione energetica), i costi di funzionamento e i costi di manutenzione.

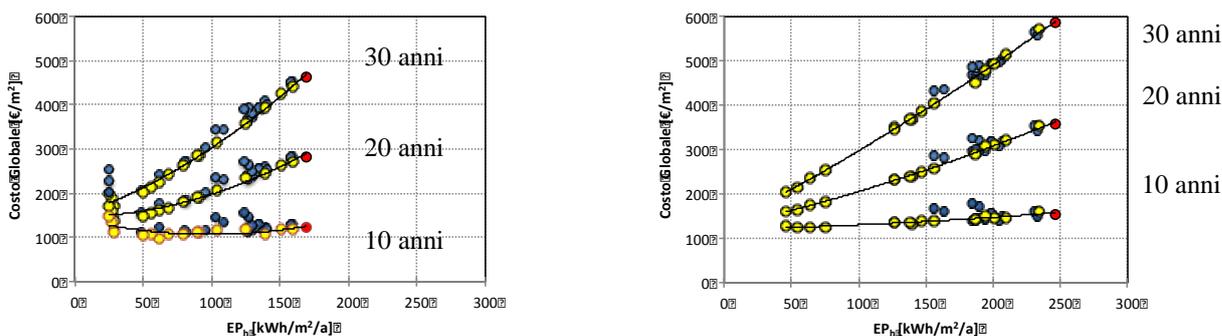


Figura 5. Risultati in termini di costo globale, relativi al caso 1 (sinistra) e al caso 2 (destra).

È possibile così definire il *potenziale di riqualificazione* come “il massimo possibile risparmio durante il periodo di riferimento dell’edificio considerato, ottenibile tramite il progetto dell’intervento di riqualificazione” e la *soluzione di riqualificazione ottimale* come la “soluzione più sostenibile che permette di ottenere il potenziale di riqualificazione, ovvero di raggiungere i minori costi durante il periodo di ciclo di vita economica considerato”.

3. CONCLUSIONI

Il caso 2 (senza teleriscaldamento), caratterizzato da maggiori consumi energetici e quindi maggiore spesa annua per il riscaldamento, si è dimostrato più conveniente rispetto al caso 1. Alcuni aspetti del calcolo meritano sicuramente attenzione: è il caso ad esempio dei ponti termici, la cui non corretta o dettagliata quantificazione (ad esempio, utilizzando i valori da abaco) può portare a differenze dell’ordine del 5-15% nei risultati finali. Attenzione deve essere posta anche alla normalizzazione dei consumi e al cambio di superficie utile conseguente all’applicazione di isolamenti sul lato interno delle chiusure verticali disperdenti. È indispensabile mostrare, inoltre, in maniera trasparente, il fattore di correzione utilizzato nelle analisi.

Il tasso di sconto è sicuramente l’elemento di maggior sensibilità, che può quindi far variare in maniera anche significativa i risultati. Il nodo cruciale risulta essere la stima, in un così lungo periodo, dell’evoluzione dei prezzi dell’energia. È possibile fare riferimento alle previsioni fornite dalla Commissione stessa [9] sviluppate con il modello PRIMES, come suggerito all’interno del Regolamento citato [8]. Esse indicano che è possibile considerare un aumento del 2,8% all’anno fino al 2042. Per ovviare al problema, a volte il tasso di attualizzazione non viene del tutto considerato.

L’analisi è stata completata anche con lo studio di diversi scenari di intervento sugli impianti, che non trovano tuttavia spazio in questa pubblicazione. I costi di manutenzione e il valore dell’immobile (conseguente all’intervento di riqualificazione) sono aspetti che meritano ulteriori approfondimenti.

4. RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

- [1] T. Barker et al, “Technical Summary”. In: B.Metz et al. (eds) *Climate Change 2007: Mitigation. Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Cambridge Univ. Press, NY, USA, 2007.
- [2] “Strategy for the sustainable competitiveness of the construction sector and its enterprises”, Commission communication to the European Parliament and the Council, COM (2012) 433.
- [3] E. De Angelis, D. Pasini, G. Pansa, G. Dotelli, E. Serra (2013), “A Tool for the Optimization of Building Envelope Technologies – Basic Performances against Construction Costs of Exterior Walls”, *Proceedings of CISBAT 2013*.
- [4] E. De Angelis, G. Pansa, E. Serra, A. Ciribini (2013). “Economic Sustainability of Energy Efficiency Retrofits for Residential Buildings. A Case Study and a Methodology”. (pp. 1059- 1066). In: *Proceedings of the 39th IAHS World Congress, Milano*.
- [5] E. De Angelis, G. Pansa, E. Serra (2014) “Research of the Economic Sustainability of Different Energy Refurbishment Strategies for an Apartment Block Building”, *Energy Procedia* 48 (2014), 1449-1458.
- [6] Rete Sistema Abitare, <http://www.sistema-abitare.it>.
- [7] Directive 2010/31/EU of the European Parliament and of the Council of 19 May 2010 on the energy performance of buildings (recast).
- [8] Commissioning delegated regulation (EU) No 244/2012 of 16 January 2012.
- [9] Capros P. et al., EU energy, transport and GHG emissions trends to 2050. Reference scenario 2013, dicembre 2013.
Capros P. et al., EU Energy trends to 2030 (update 2009), agosto 2010.
<http://ec.europa.eu/energy/en/statistics/energy-trends-2050>.